

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розроблення мехатронного модуля для дистанційного керування рухом
транспортного засобу спеціального призначення
(тема)

Виконав:

студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-2

Коваленко І. С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Новоселов С. П.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
 Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (код і повна назва)
 Тип програми освітньо-професійна
 Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
 (підпис)

«____» _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Коваленку Іллі Сергійовичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення мехатронного модуля для дистанційного керування рухом транспортного засобу спеціального призначення
затверджена наказом університету від 03.06.2024 р. № 544Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20.06.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Дані про види транспортних засобів спеціального призначення, дані про методи дистанційного керування транспортними засобами, програма для побудови алгоритмів DRAW.io
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
 1. Вступ
 2. Аналіз транспортних засобів спеціального призначення
 3. Розробка системи дистанційного керування
 4. Моделювання системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення
 5. Розрахунок передавальної функції двигуна
 6. Охорона праці
 7. Висновки
5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint(*.pptx)

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів	Примітка
1	Отримання завдання до роботи	04.03.2024	виконано
2	Вступ	03.05.2024	виконано
3	Аналіз транспортних засобів спеціального призначення	08.05.2024	виконано
4	Розробка системи дистанційного керування	25.05.2024	виконано
5	Моделювання системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення	29.05.2024	виконано
6	Розрахунок передавальної функції двигуна	03.06.2024	виконано
7	Охорона праці	05.06.2024	виконано
8	Висновки	08.06.2024	виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом Unocheck	12.06.2024	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2024	виконано
11	Подання роботи на рецензію	13.06.2024	виконано
11	Подання роботи на підпис зав. Кафедри	17.06.2024	виконано
12	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	18.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 04.03.2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Коваленко І. С. _____
(прізвище, ініціали)

проф. Новоселов С. П. _____
(посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"20" червня 2024 р.



Коваленко І.С.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 9 табл., 53 рис., 2 дод., 32 джерела.

ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, ГУМАНІТАРНЕ РОЗМІНУВАННЯ.

Метою роботи є вдосконалення способу управління мехатронним модулем для віддаленого керування рухом транспортного засобу спеціального призначення.

Об'єкт розробки – процес дистанційного керування рухом транспортного засобу.

Предмет розробки – мехатронний модуль для віддаленої взаємодії з транспортним засобом.

У роботі було проведено аналіз методів дистанційного управління транспортними засобами різних типів. До аналізу ввійшло дослідження різних способів дистанційного керування автомобілями, екскаваторами та іншими транспортними засобами. На базі цього аналізу було розроблено систему дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення.

Результатом роботи є мехатронний пристрій і програмний засіб для модуля керування джойстиком транспортного засобу.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 72 p., 9 tables, 53 fig., 2 add., 32 sources.

REMOTE CONTROL, SPECIAL PURPOSE VEHICLE, HUMANITARIAN DEMINING.

The aim of the work is to improve the method of controlling a mechatronic module for remote control of the movement of a special purpose vehicle.

The object of development is the process of remote control of the vehicle's movement.

The subject of development is the mechatronic module for remote interaction with the vehicle.

The study analyzed methods of remote control for various types of vehicles.

This analysis included the investigation of different remote control methods for cars, excavators, and other vehicles. Based on this analysis, a remote control system for a special purpose vehicle was developed.

The result of the work is a mechatronic device and software tool for the joystick control module of a vehicle.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз транспортних засобів спеціального призначення	12
1.1 Аналіз транспортних засобів	12
1.2 Способи дистанційного керування транспортним засобом	15
1.3 Аналіз методів дистанційного управління транспортними засобами різних типів.....	20
2 Розробка системи дистанційного керування.....	27
2.1 Розробка структурної схеми.....	27
2.2 Розробка алгоритму виконавчого модулю.....	28
2.3 Розробка 3D моделі.....	31
2.4 Вибір компонентної бази.....	33
2.4.1 Аналіз мікроконтролерів Arduino.....	33
2.4.2 Аналіз мікроконтролерів STM.....	37
2.4.3 Аналіз мікроконтролерів ESP.....	38
2.4.4 Аналіз двигунів.....	41
2.4.5 Аналіз драйверів.....	46
2.4.6 Аналіз датчиків.....	46
2.4.7 Аналіз електромагнітних реле.....	56
3 Моделювання системи дистанційного керування транспортним засобом спеціального призначення.....	59
3.1 Експериментальна частина.....	59
3.2 Принцип роботи коду	61
3.3 Розрахунок моменту зусилля.....	70
4 Розрахунок передавальної функції двигуна.....	71
4.1 Моделювання динаміки управління крокового двигуна типу SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A.....	71

5 Охорона праці.....	74
5.1 Поняття шкідливих факторів.....	74
5.2 Заходи безпеки.....	77
5.3 Заходи безпеки під час гуманітарного розмінування.....	78
Висновки.....	81
Перелік джерел посилання.....	82
Додаток А Лістинг програми для роботи модуля.....	86
Додаток Б Демонстраційні матеріали у вигляді презентацій.....	91

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- БПЛА – безпілотний літальний апарат;
- ВНП – вибухонебезпечні предмети;
- ВПФ – вищі психічні функції;
- ДСТУ – Державний стандарт України;
- ІоТ – інтернет речей;
- ІЧ – інфрачервоний;
- МРС – мінно-розшукові собаки;
- РЧ – радіочастотний;
- ЦЗ – цивільний захист;
- ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;
- DTMF – двотональний багаточастотний декодер;
- GSM – глобальна система мобільного зв'язку.

ВСТУП

У зв'язку з початком військових дій, Україна стала країною з найбільшою кількістю замінованих територій у світі. Виникло важливе та складне питання щодо розмінування постраждалих територій.

Безпечне знешкодження цих об'єктів на відстані є ключовим аспектом безпеки. Головною метою є робота з небезпечними об'єктами, такими як міни та вибухівка, на відстані.

У багатьох країнах світу вже ведуться розробки та прийнято на озброєння транспортні засоби дистанційного керування. Одним із варіантів створення таких транспортних засобів є переобладнання тракторів.

При переобладнанні додається система дистанційного керування за допомогою якої оператор знаходячись у безпечному місці може виконувати гуманітарне розмінування без ризиків для життя.

Контроль здійснюється за допомогою додавання мехатронних засобів.

Пульт керування режимами роботи входять до складу систем дистанційного керування. Їх завданням є вибір з деякої множини режимів або налаштування на задані значення констант. Крім того, у низці систем контролю передбачаються режими перевірки, калібрування, введення розрахункових констант, наприклад, значення ширини захоплення, скидання (обнулення) накопичених облікових даних.

Актуальність роботи – розробка мехатронної системи дистанційного керування за допомогою якої оператор знаходячись у безпечному місці може виконувати гуманітарне розмінування без ризиків для життя.

Мета роботи – вдосконалення способу управління мехатронним модулем для віддаленого керування рухом транспортного засобу спеціального призначення.

Об'єкт розробки – процес дистанційного керування рухом транспортного засобу.

Предмет розробки – мехатронний модуль для віддаленої взаємодії з

транспортним засобом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз методів дистанційного управління транспортними засобами різних типів;
- розробка 3D моделі мехатронного засобу;
- розробити структурну схему макету;
- провести підбір елементної бази для макета мехатронного модуля;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [2].

1 АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.2 Аналіз транспортних засобів

Будівельні машини можна класифікувати з урахуванням різних аспектів, наприклад, приводу або способу управління, але найпростіше і зрозуміліше їх представлення відповідно до виду виконуваної роботи. Таким чином ми можемо розрізнити:

- автокрани;
- самохідні екскаватори;
- бульдозери;
- автогрейдери.

Автокрани. Даний агрегат пересувається на автомобільному колісному шасі, при цьому забезпечуючи достатню для виконання дорожньо-будівельних операцій вантажопідйомність (від 16 тонн до 50 тонн). Автокран придатний для навантаження/вивантаження фасованих будматеріалів, цегли та колод, кінцевої установки та перевантаження монолітних блоків, переміщення побутівок та будівельних вагончиків. Вигляд звичайного автокрану зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Вигляд звичайного автокрану

Самохідні екскаватори. При дорожніх роботах особливо затребувані екскаватори на гусеничному ході, що відрізняються високою прохідністю на нестійких та болотистих ґрунтах, на льоду та в умовах пересіченої місцевості. Гусеничному екскаватору властиві хороша керованість, здатність долати підйоми та спуски, міцність механіки та надійність гідравліки. Їх використовують для: розробки котлованів, первинних дорожніх основ та утворення насипів; формування траншей та каналів під трубопроводи та водостоки; подрібнення мерзлого ґрунту; видалення перешкод. Для забезпечення дистанційного контролю екскаватора необхідно управляти не лише пересуванням, а й великою кількістю гідравлічних осей. Вигляд звичайного екскаватора зображено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Вигляд звичайного екскаватора

Бульдозери. Дана техніка прийнятна до застосування, перш за все, на первинних етапах будівництва автотрас. З їх допомогою проводиться розрівнювання основ під дорожні полотна, закапування покладених стічних труб та технологічних траншей, переміщення по заданій ділянці гравію та ґрунту, поетапне зрізання ґрунтових шарів. При подібних операціях використовують бульдозери з різною тяговою силою та різними конструкціями кріплення відвалів. Вигляд звичайного бульдозера зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Вигляд звичайного бульдозеру

Автогрейдери. Машини цього класу потрібні для розробки та профілювання поверхні дорожнього полотна, вирізування кюветів, формування бічних укосів, надання частинам полотна заданих поперечних та поздовжніх ухилів. Грейдери більшої потужності придатні також для облаштування земляних полотен. На відміну від бульдозера, автогрейдер за наявності відвалу із змінним кутом установки, має колісне шасі. Крім цього, машина обладнана киркувальником, призначеним для розтину щільного ґрунту, розбивання старого асфальту, бетону та сколювання льоду. Вигляд звичайного грейдеру зображено на рисунку 1.4 [15].



Рисунок 1.4 – Вигляд звичайного грейдеру

1.2 Способи дистанційного керування транспортним засобом

Розвиток технологій дистанційного керування стає все більш актуальним у сучасному світі, особливо в контексті гуманітарного розмінування. Проведення аналізу методів дистанційного керування є вагомим фактором ефективного та безпечного вирішення завдань розмінування.

Автомобіль із дистанційним керуванням зазвичай визначається як будь-який мобільний пристрій, яким керують засоби, які не обмежують його рух із зовнішнього середовища. Часто це радіопристрій керування, кабель між ним і транспортним засобом або інфрачервоний контролер. Автомобіль з дистанційним керуванням відрізняється від роботи тим, що він завжди керується людиною і не виконує жодних дій самостійно.

Дистанційне управління – це передача керуючого сигналу від оператора до об'єкта управління на відстані, коли пряме з'єднання неможливе через рух об'єкта, велику відстань або агресивне середовище.

Системи дистанційного управління розрізняються перш за все за типом каналу зв'язку:

а) механічний канал – використовується там, де об'єкти віддалені один від одного на порівняно невелику відстань або потрібно забезпечити миттєву неспотворену реакцію (наприклад, управління літальними апаратами, автомобілями);

б) електричний канал:

1) провідний канал – використовується там, де немає можливості застосувати бездротові канали (наприклад, через відсутність прямої видимості, наявності екранування, міркувань секретності і т. д.) або з міркувань вартості і перешкодозахищеності. Такий канал використовується, головним чином, для управління системами мобільних об'єктів, обладнанням виробничих об'єктів, лабораторій, або спеціальних об'єктів (військового і іншого призначення);

2) радіоканал (радіоуправління) – використовується, головним чином, для управління рухомими об'єктами – радіокерованими спортивними моделями і

іграшками, обладнанням для надзвичайних ситуацій (роботи і т. д.), безпілотними літальними апаратами (БПЛА), військовими мобільними об'єктами; або в ситуаціях, коли передавач і приймач не можуть перебувати в зоні прямої видимості (системи освітлення або опалення, підйомники гаражних дверей і т. д.) (рис. 1.5);



Рисунок 1.5 – Дистанційно керований транспортний засіб з камерою

3) ультразвуковий канал – використовується рідко, для управління мобільними і стаціонарними об'єктами на порівняно невеликій відстані; інфрачервоний канал – використовується, як правило, для побутової електроніки.

Дистанційне управління складається з: передавача, приймача і виконавчих механізмів (реле, тяги і т. п.) [3].

Одним із способів дистанційного керування є керування за допомогою мобільного телефону користувача. Таким чином ми можемо переміщувати транспортний засіб у потрібному напрямку відповідно до наших вимог. Використовуючи компактний двотональний багаточастотний (DTMF) декодер, а транспортний засіб, керується мережею GSM, яка організовує перемикання від декодованого пристрою та пристрою перемикання живлення для керування моторним приводом транспортного засобу за допомогою двох стільникових телефонів.

Ми знаємо, що автомобілі чи транспортні засоби з дистанційним керуванням не мають широкого діапазону бездротової мережі. Це означає, що оператор

повинен бути на відстані дотику до приймача автомобіля. Таким чином, зрозуміло, що транспортний засіб з дистанційним керуванням не може бути застосований для виконання завдань через відсутність у нього діапазону керування. Тут на допомогу приходить автомобіль, керований GSM (рис. 1.6).

Транспортні засоби, які використовуються для подорожей демонструють зростаючі можливості електронних технологій. Командні сигнали для керування рухом транспортних засобів можна надсилати, використовуючи мобільну мережу. Для того щоб рухати транспортний засіб вперед, назад, повертати праворуч або ліворуч, команди надсилаються у вигляді повідомлень за допомогою технології GSM.

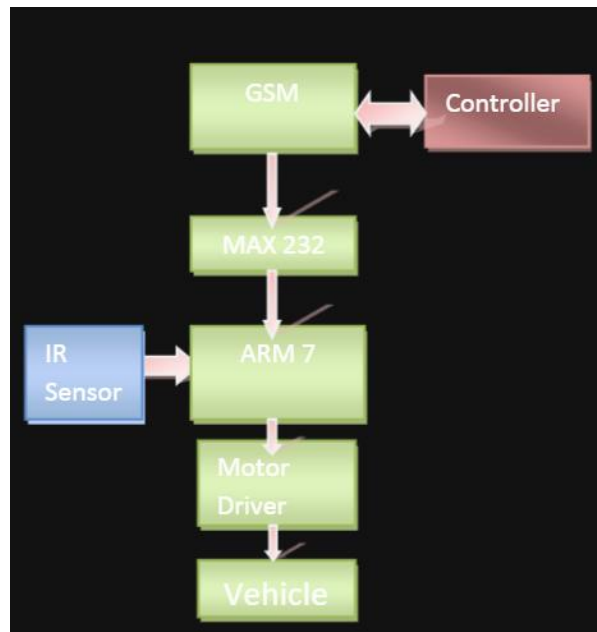


Рисунок 1.6 – Алгоритм керування транспортним засобом за допомогою GSM мережі

Використовуючи два телефони з підтримкою GSM, ми можемо створити механізм керування транспортним засобом. Тут нам не потрібно турбуватися про дальність дії, якщо використовуються такі датчики, як ІЧ-датчики та камери, або мобільні телефони з підтримкою 3G, оскільки більшість країн світу працює в мережі GSM. Використовуючи цю перспективу, ми можемо взяти цей автомобіль і перетворити його на користь людям. Ці транспортні засоби можна

використовувати як пожежних роботів, бойових транспортних засобів або використовувати у місцях, які небезпечні для будь-якої людини [17].

Ці способи підходять для керування невеликими транспортними засобами, але використовуючи їх неможливо керувати екскаваторами, бульдозерами чи іншими важкими транспортними засобами.

Ще одним способом є використання радіочастотної технології для виконання дистанційного керування. Система використовує мікроконтролер для роботи. Схема передачі складається з кнопок, які використовуються для передачі команд на приймач. Команди використовуються, щоб змусити автомобіль рухатися вперед, назад, ліворуч або праворуч. Система використовує два двигуни, які підключені до мікроконтролера. Ці двигуни використовуються для керування рухом автомобіля. Тут РЧ-передавач виконує роль РЧ-пульта. Радіус дії цього радіочастотного дистанційного керування становить до 200 метрів за умови належної антени. Приймач відповідає за декодування та передачу його на інший мікроконтролер для керування двигунами постійного струму через мікросхему драйвера двигуна для виконання необхідної роботи [28].

Одним з можливих варіантів керування є джойстик. Управління транспортним засобом за допомогою джойстика означає використання лише однієї руки для регулювання як швидкості, так і напрямку руху автомобіля [26].

Також є варіант керування транспортним засобом за допомогою геймпада, одного або кількох джойстиків і ножних педалей. Пульт дистанційного керування транспортним засобом надсилає команди до бортових елементів керування, щоб керувати рухом віддаленого транспортного засобу, і відображає рух транспортного засобу оператору через екран [29].

Інфрачервоний пульт дистанційного керування для транспортного засобу – це пристрій, який дозволяє користувачеві дистанційно керувати його рухом. Він працює за допомогою відправки інфрачервоних сигналів на мікроконтролер, який інтерпретує сигнали і керує рухом моторів транспортного засобу.

Інфрачервоний пульт дистанційного керування зазвичай складається з набору кнопок або джойстика, які користувач може натискати або рухати для

керування рухом. Кожна кнопка або напрямок на джойстику відповідає конкретній команді руху, такі як вперед, назад, ліворуч або праворуч. Коли кнопка натискається або джойстик рухається, пульт дистанційного керування відправляє інфрачервоний сигнал (рис. 1.7) на мікроконтролер транспортного засобу, який інтерпретує сигнал і керує моторами відповідно.

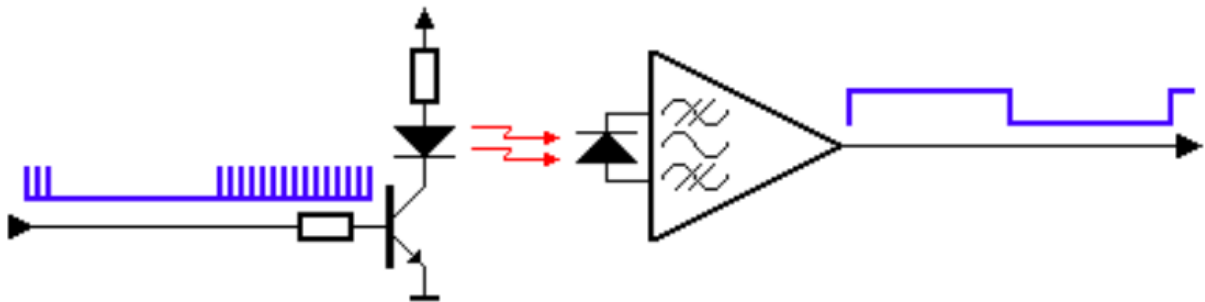


Рисунок 1.7 – Передача інформації за допомогою інфрачервоного випромінювання

Інфрачервоний пульт дистанційного керування і мікроконтролер транспортного засобу повинні бути спроектовані для взаємодії та використання одного й того ж інфрачервоного протоколу. Зазвичай мікроконтролер має інфрачервоний приймач, який може отримувати і інтерпретувати сигнали, відправлені пультом дистанційного керування. Існує кілька інфрачервоних протоколів, таких як NEC, RC5 і RC6, які часто використовуються в дистанційних пристроях керування [21].

Транспортний засіб з DTMF потребує двох мобільних телефонів. Обидва мобільні телефони використовуються для передачі команд транспортному засобу, один працює як передавач, а інший як приймач. Передавальний мобільний телефон передає команди приймальному мобільному телефону, який передає команди машині. Для керування нею нам потрібно зателефонувати на приймальний мобільний телефон з передавального мобільного телефону. Ці мобільні телефони діють як генератор двотонових частот. Тон або частота генерується в залежності від натискання клавіш. Коли дзвонять з передавального мобільного телефону,

приймальний мобільний телефон приймає дзвінок на вказаний контакт, і згідно з клавішами, натисканими на передавальному мобільному телефоні, виконуються дії зі списку команд, які зберігаються в мікроконтролері. Декодер DTMF використовується для декодування отриманого тону, тим самим надаючи двійковий еквівалент отриманого тону. За допомогою декодера DTMF отримана частота обробляється мікроконтролером. Далі результат виводу мікроконтролера передається на мотор. Коли натискається клавіша на передавальному мобільному телефоні, отримана приймальним мобільним телефоном і декодером DTMF, підключеним до нього, сигнал декодується до двійкового еквіваленту і подається на мікроконтролер, який перетворює двійковий номер на відповідні команди. Ці команди передаються на мотор для і, таким чином, відбувається переміщення машини [27].

1.3 Аналіз методів дистанційного управління транспортними засобами різних типів

Для того щоб дистанційно керувати транспортним засобом потрібно зробити деякі модифікації (рис. 1.8, 1.9).

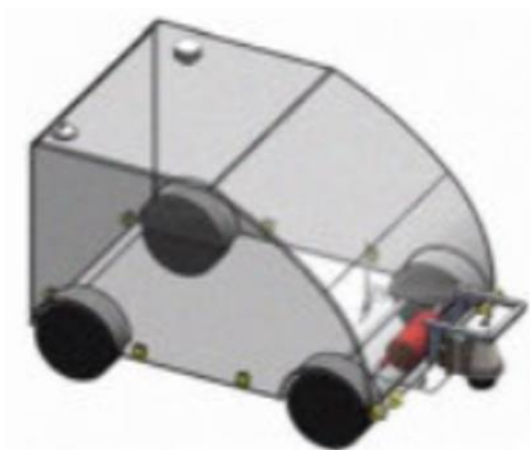


Рисунок 1.8 – 3D модель транспортного засобу



Рисунок 1.9 – Вид з салону до та після модифікації

Зазвичай для приведення в дію кермового колеса при дистанційному керуванні використовується або ремінна передача або шестерня. Таким чином, можна керувати кермовим колесом вручну, як у звичайному транспортному засобі (рис. 1.10). Шестерня надає більш жорстке і точне з'єднання між двигуном і кермовим колесом, що забезпечує миттєву реакцію на команди і високу надійність в роботі. Завдяки своїй конструкції, шестерневі передачі можуть бути використані в умовах високих навантажень та інтенсивної експлуатації, що робить їх підходящими для використання в різних типах транспортних засобів [31].



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд механізму обертання кермом транспортного засобу

Ще одним способом дистанційного керування кермом є ремінна передача. Якщо на двигун подається напруга і передається керуючий сигнал, то потужність передається на рульову вісь через ремені. Завдяки використанню електричного зчеплення в рульовому механізмі, можна вільно переключатися між ручним та дистанційним режимами (рис. 1.11).

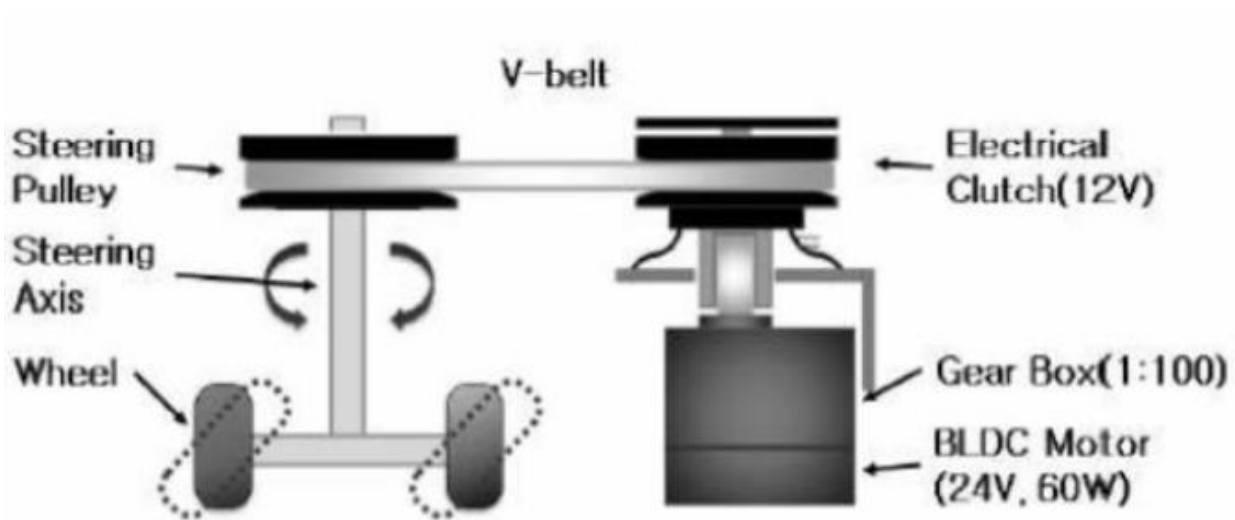


Рисунок 1.11 – Структура механізму обертання керма транспортного засобу за допомогою ремінної передачі

Дистанційно керовані транспортні засоби мають власне джерело живлення і можуть керуватися на відстані за допомогою пульта, що працює на радіохвилях. Коли ми натискаємо на кнопки на пульті керування, передавач відправляє певну кількість електричних імпульсів, на транспортний засіб. Як тільки радіокерований трактор приймає сигнал, він запускає двигун. Джерело живлення постачає енергію всім робочим частинам, включаючи двигун [32].

Керування трактором здійснюється за допомогою методу зубчастої рейки та шестерні (який контролює напрямок передніх коліс), де шестерню, прикріплену до валу керма, можна замінити на двигун постійного струму, до якого прикріплена шестерня, що зчеплена з рейкою, прикріпленою до осі переднього колеса (рис.

1.12). Далі двигун можна підключити до механізму дистанційного управління для керування на відстані за допомогою пульта [24].

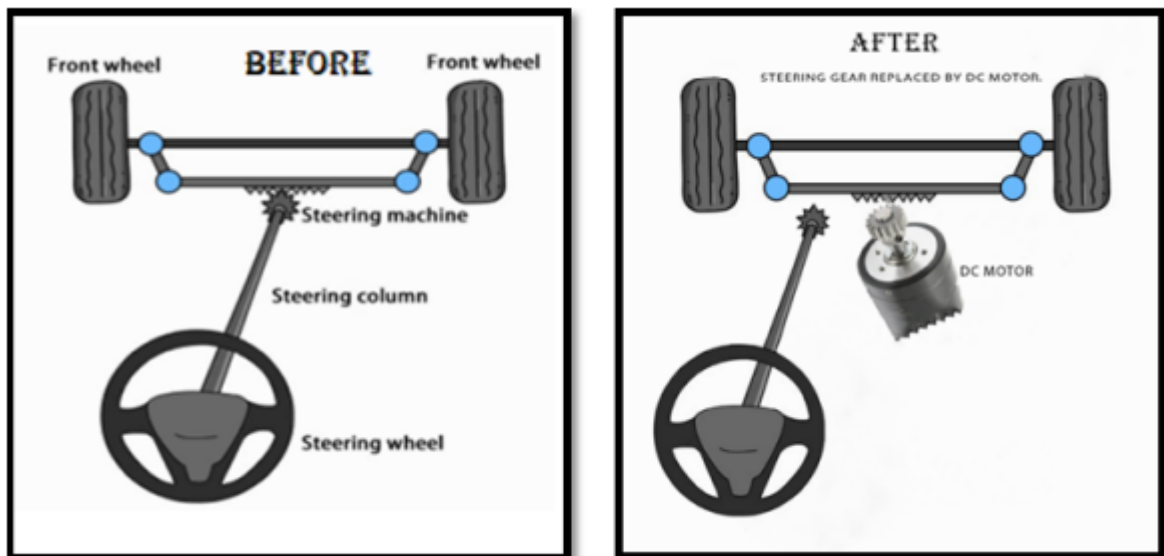


Рисунок 1.12 – Структура механізму обертання керма

Транспортний засіб модифіковано для дистанційного управління та спостереження однією людиною через бездротову систему керування, робота якої базується на передачі та прийомі радіосигналів.

З метою кращої організації різних частин відповідно до їхніх функцій, обладнання та пристрої, що входять до системи управління, були поділені на два типи, локальний та дистанційний (рис. 1.13), кожен з яких має наступні основні характеристики:

– локальний тип: використовується оператором для дистанційного керування транспортним засобом та відображення зображень, захоплених встановленою відеокамерою;

– дистанційний тип: складається з механічних пристроїв та електронних компонентів, встановлених на транспортному засобі, які відповідають за контроль мобільності, керування через радіосигнали, отримані від контролера. Основними складовими є: привід, керування та моніторинг [22].

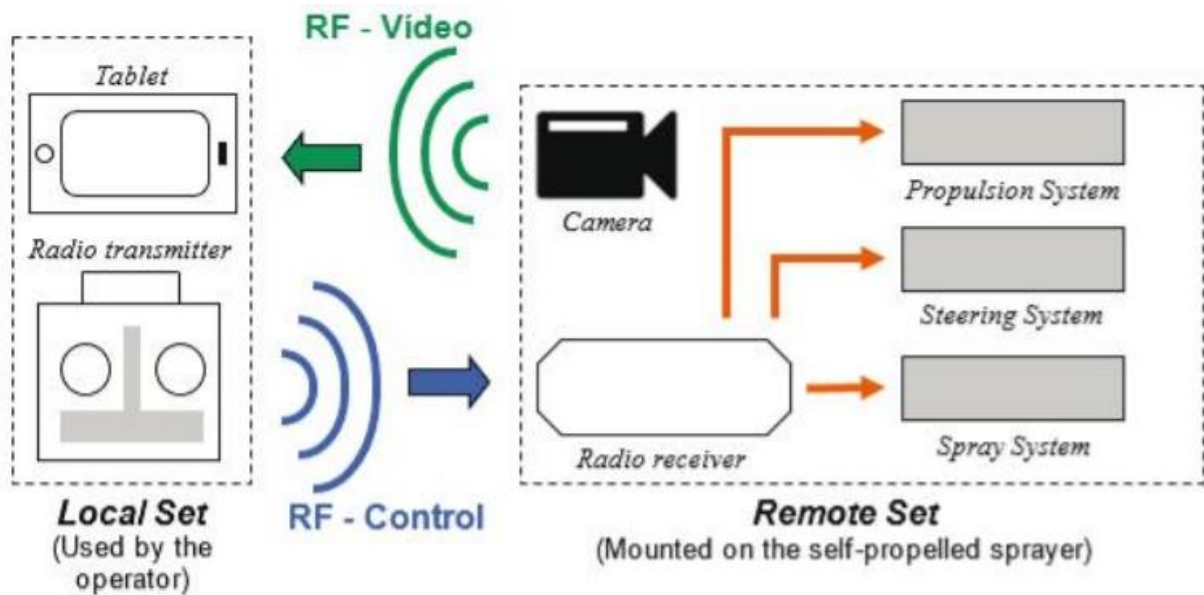


Рисунок 1.13 – Система дистанційного керування мінітрактором

1.4 Аналіз методів дистанційного управління екскаватором

Дистанційне керування екскаваторами є складнішим, ніж керування з кабіни, через необхідність вирішення проблем, таких як обвал ґрунту, падіння каменів тощо. Тому вкрай важливо, щоб методи дистанційного керування були інтуїтивно зрозумілими і мали подібні методи управління до тих, що використовуються на реальних екскаваторах.

Автор [25] здійснює дистанційне керування екскаватором за допомогою станції керування, яка приводить у дію маніпулятор, прикріплений до стандартних органів керування екскаватора через комунікаційне з'єднання Zigbee. Маніпулятор складається з чотирьох блоків керування, кожен з яких керує одним з двох важелів і двома педалями, що складають оригінальні джойстики екскаватора. Чотири блоки керування маніпулятора керують джойстиком на основі командних сигналів, отриманих основним контролером. Використання такої системи дистанційного керування дозволяє безпілотним екскаваторам працювати з точністю і безпекою, так само, як і при наявності оператора.

Компоненти маніпулятора, встановлені на стрілі управління, ковші та руків'ї в кабіні машини, отримують оперативні дані від двох важелів дистанційної станції

керування, які перетворюються на 8-бітний сигнал і передаються маніпулятору через протокол зв'язку Zigbee. Це дозволяє приводити джойстик екскаватора в рух вліво, вправо, вгору і вниз на основі отриманих сигналів (рис. 1.14). Вхідний сигнал від дистанційного керування, переданий до основного контролера екскаватора, встановленого на джойстику, має форму 8-бітного електричного сигналу, який змушує основний контролер керувати екскаватором, маніпулюючи блоком керування важелем та блоком керування педаллю у відповідь на інструкції дистанційного оператора.

Для нашої роботи використувувати це комунікаційне з'єднання неможливо, адже воно діє на невеликій дистанції.

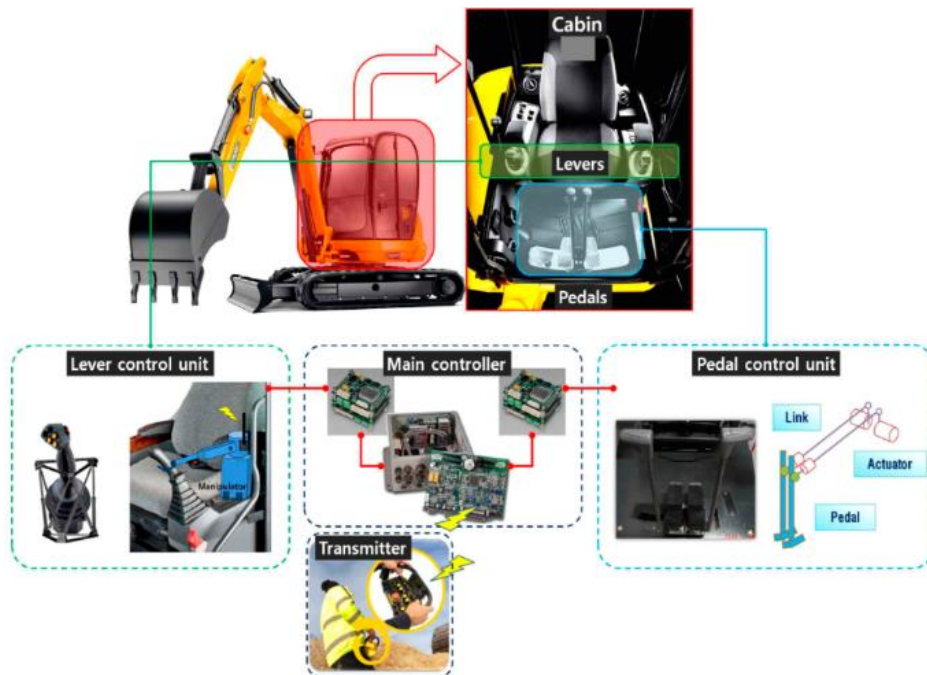


Рисунок 1.14 – Дистанційна система керування екскаватором

Використовуючи радіочастотний зв'язок, транспортний засіб приймає сигнал пульта керування (рис. 1.15). У комунікації між дистанційним управлінням і екскаватором використовується бездротова локальна мережа. Екскаватор зазвичай керується за допомогою пульта керування [30].

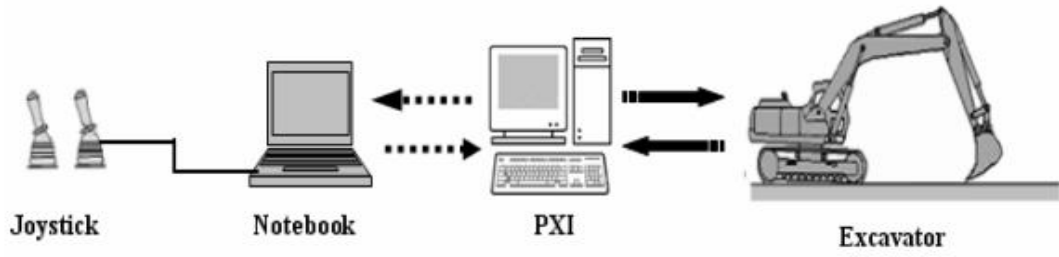


Рисунок 1.15 – Система дистанційного керування екскаватором

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми

Створення структурної схеми є початковим кроком у розробці проекту. Вона дозволяє проаналізувати всі компоненти об'єкта розробки та допомагає у підготовці подальших схем, необхідних для його впровадження. Структурна схема визначає взаємозв'язки між компонентами системи, що забезпечує їх правильну інтеграцію та функціонування.

Це допомагає виявити можливі проблеми на ранніх стадіях розробки, що сприяє їх швидшому вирішенню та зменшенню витрат на виправлення помилок. Крім того, структурна схема дозволяє чітко визначити функції та завдання кожного елемента, що полегшує процес розробки програмного та апаратного забезпечення. Вона також є основою для розробки детальних технічних завдань, специфікацій та вимог до системи. Побудована структурна схема зображена на рисунку 2.1.

Система дистанційного керування транспортним засобом, зображена на схемі, включає такі основні компоненти: оператор і пульт керування, приймач, контролер, датчик, два драйвери для двигунів і самі двигуни. Оператор використовує пульт для подачі команд транспортному засобу, а приймач отримує ці сигнали і передає їх до контролера. Контролер, який є головним оброблювальним блоком системи, обробляє отримані сигнали від приймача і дані від датчика, а потім відправляє команди на драйвери двигунів. Датчик вимірює певні параметри (наприклад, кут повороту, швидкість, положення) і передає цю інформацію контролеру. Драйвери керують роботою двигунів відповідно до команд від контролера, забезпечуючи потрібну потужність і напрямок обертання. Двигуни приводять транспортний засіб у рух, виконуючи різні функції, такі як рух вперед/назад, поворот вліво/вправо.

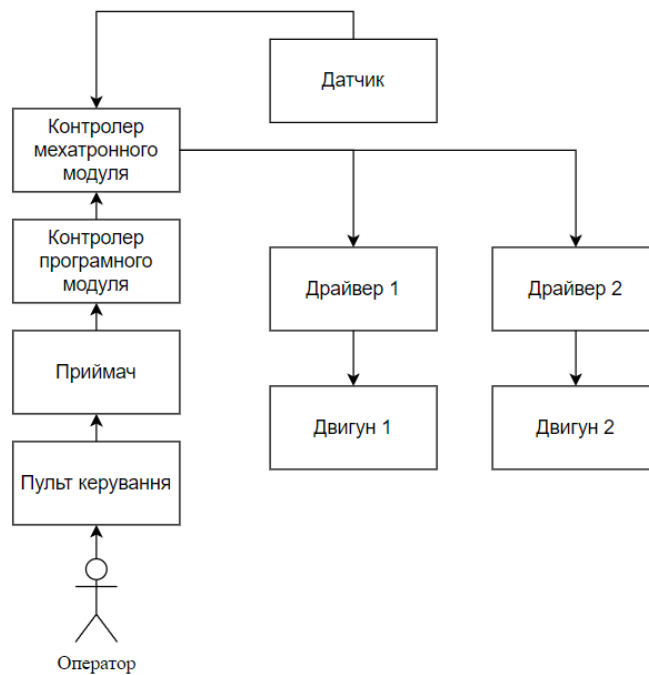


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи дистанційного керування транспортним засобом

2.2 Розробка алгоритму виконавчого модулю

Робота алгоритму розпочинається з отримання контролером інформації з контролеру програмного модуля.

Далі мікроконтролер мехатронного модуля відокремлює з усієї отриманої інформації ту її частину, яка є безпосередньо кодом команди.

Наступним кроком відбувається перевірка на співпадіння коду отриманої команди з кодом команди “рух вперед”. Якщо це співпадіння є, то на відповідному виході контролера формується сигнал, який активує виконавчий пристрій, що забезпечує рух транспортного засобу вперед.

Якщо поставлена умова не виконується, тобто код отриманої команди не співпадає з кодом команди “рух вперед”, то відбувається аналогічна перевірка на “рух назад”. Якщо отриманий код співпадає з кодом цієї команди, то відповідним

керуючим сигналом активується інший виконавчий пристрій, який забезпечує рух транспортного засобу назад.

Якщо код отриманої команди не співпадає з кодом команди “рух назад”, виконується перевірка коду команди “рух транспортного засобу ліворуч”. Аналогічно, якщо результат перевірки позитивний, тобто код отриманої команди є кодом команди “рух транспортного засобу ліворуч”, відповідним керуючим сигналом контролера приводиться в дію рухома частина виконавчого модуля, яка переводить джойстик на панелі керування у відповідне положення і транспортний засіб повертається ліворуч.

Якщо ця умова не виконується, тобто код отриманої команди не співпадає з кодом команди “рух транспортного засобу ліворуч”, то відбувається перевірка команди “рух транспортного засобу праворуч”. Знову ж таки, якщо результат перевірки позитивний, тобто код отриманої команди є кодом команди “рух транспортного засобу праворуч”, відповідним керуючим сигналом контролера приводиться в дію рухома частина виконавчого модуля, яка переводить джойстик у відповідне положення і транспортний засіб повертається праворуч.

Якщо результат останньої перевірки негативний, тобто це не команда “рух транспортного засобу праворуч”, то, очевидно, це команда “зупинка”. В даному випадку контролер активує рухома частину виконавчого модуля, який переводить джойстик у середнє положення і, якщо відбувався рух вперед або назад зупиняє транспортний засіб.

Для визначення середнього положення рухомої частини виконавчого модуля використовується кінцевий вимикач, який спрацьовує у середньому положенні рухомої частини модуля і подає сигнал на контролер який фіксує рухома частину в цьому положенні.

Блок-схема алгоритму роботи виконавчого модуля зображена на рисунку 2.2.

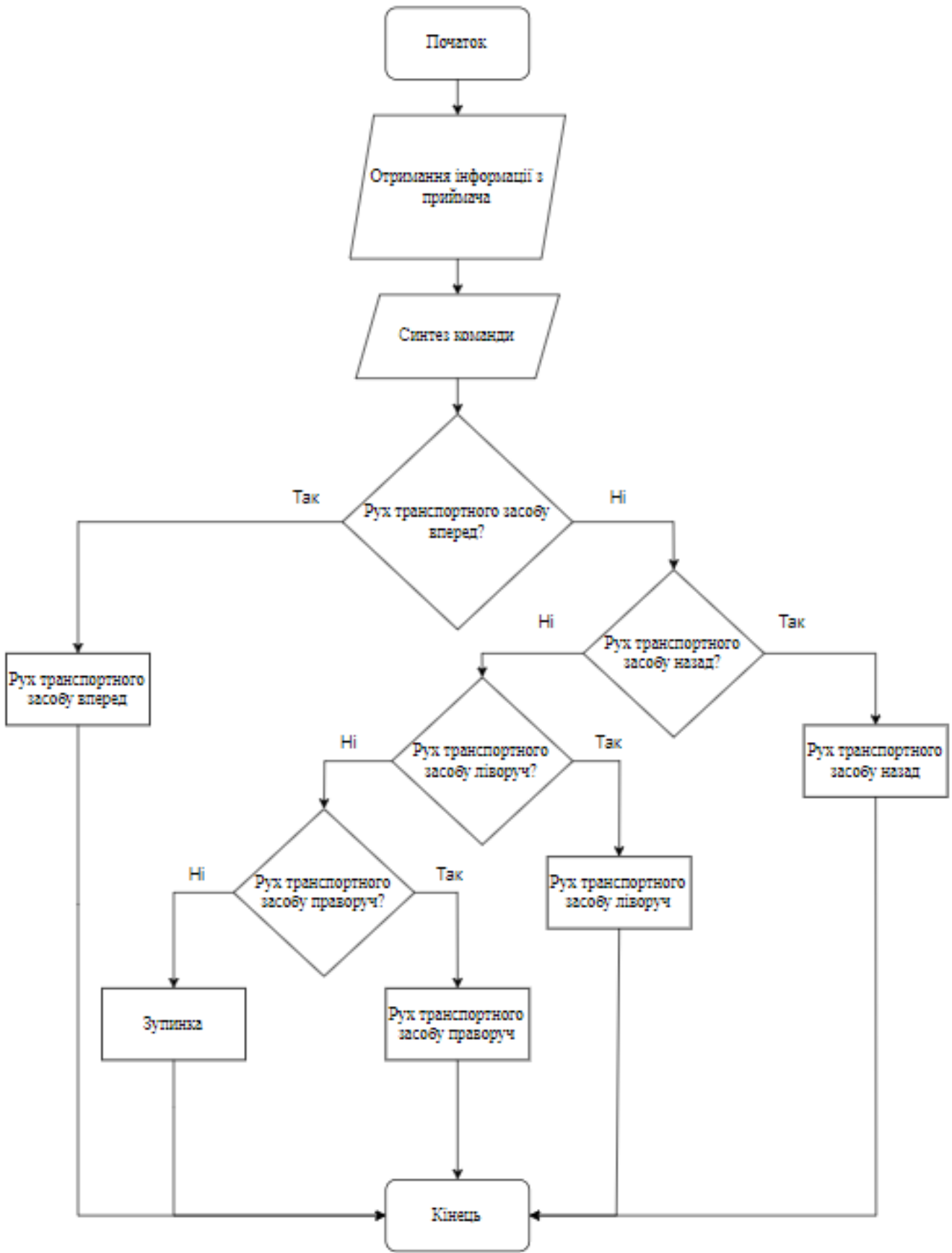
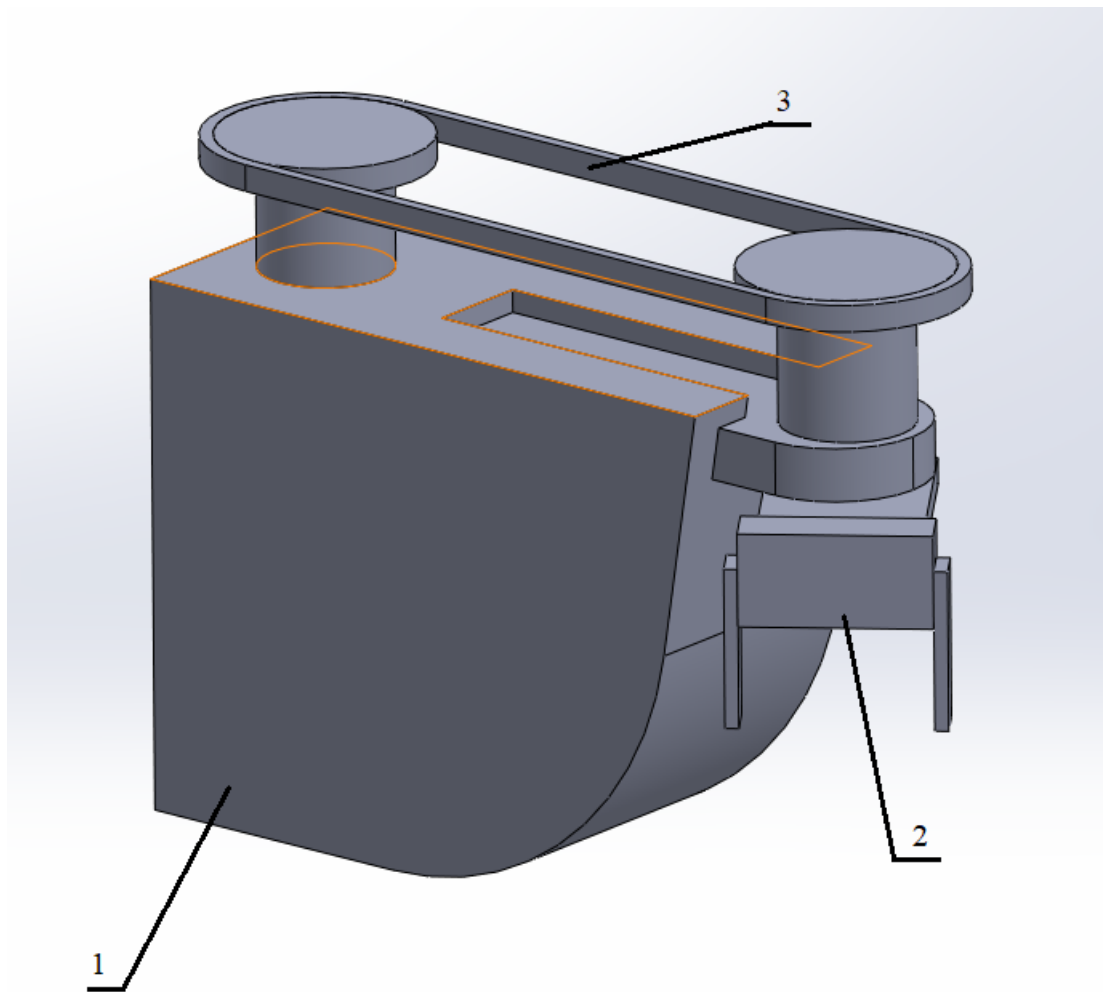


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму роботи виконавчого модуля

2.3 Розробка 3D моделі

Наступним важливим етапом у розробці проекту є створення 3D моделі механізму. На рисунку 2.3 показана 3D модель засобу керування джойстиком транспортного засобу.



1 – основа; 2 – рухома частина; 3 – ремінна передача

Рисунок 2.3 – 3D модель модуля керування джойстиком транспортного засобу

Вся система дистанційного керування складається з двох основних частин: пульта керування, який знаходиться у оператора, що може бути на безпечній відстані від транспортного засобу і виконавчого модуля, що знаходиться у кабіні цього транспортного засобу. Модуль безпосередньо приєднується до панелі, на

якій розташований джойстик, що керує поворотом транспортного засобу ліворуч і праворуч. Цей модуль складається з двох основних частин: електричної і механічної. До складу електричної частини входять радіоприймач і контролер. Механічна частина (рис. 2.3) складається з основи 1, рухомої частини 2 і ремінної передачі 3. Рухома частина модуля механічно зв'язана з джойстиком, який керує поворотом транспортного засобу. Зв'язок між пультом керування і виконавчим модулем здійснюється за допомогою радіосигналу.

Коли оператор рухає джойстиком на пульті керування, формується радіосигнал до приймача, який знаходиться у виконавчому модулі. Приймач формує керуючий сигнал для контролера. Цей контролер, отримавши його, починає повертати вал двигуна, що знаходиться всередині основи 1, який за допомогою ремінної передачі 3 з'єднаний з рухомою частиною 2 виконавчого модуля. Таким чином, ця частина разом з джойстиком приводиться в рух та змінює положення транспортного засобу.

Додатково дана система дистанційного управління дозволяє керувати рухом транспортного засобу вперед і назад. У кабіні транспортного засобу керування рухом здійснюється за допомогою трипозиційного клавійного електричного перемикача (рис. 2.4).

У виконавчому модулі встановлені два електромагнітних реле, які своїми контактами дублюють контакти цього клавійного перемикача. Керує цими реле все той же контролер.

Якщо оператор зрушить відповідний джойстик на пульті керування, спрацює одне з даних реле і транспортний засіб почне рухатися у напрямку, обраному оператором.



Рисунок 2.4 – Орган управління напрямком руху транспортного засобу

У такий спосіб ця система дистанційного керування відтворює у кабіні транспортного засобу рухи оператора, який знаходиться на безпечній відстані з пультом керування в руках.

2.4 Вибір компонентної бази

2.4.1 Аналіз мікроконтролерів Arduino

Arduino є однією з найпопулярніших платформ для розробки та реалізації електронних проектів. Мікроконтролери Arduino характеризуються простотою використання, гнучкістю та широкими можливостями для інтеграції з різними датчиками та виконавчими механізмами. Розглянемо основні характеристики та можливості мікроконтролерів Arduino.

2.4.1.1 Arduino Mega

Arduino Mega базується на мікроконтролері Atmega2560 (рис. 2.5) і має різноманітні функції. Вона обладнана 54 цифровими входами/виходами, з яких 14 можуть використовуватися для ШІМ, а також має 16 аналогових входів і 4 послідовних порти UART. Крім цього, плата містить кварцовий генератор на 16 МГц, USB-конектор, роз'єм для живлення, роз'єм ICSP та кнопку перезавантаження. Для роботи плату можна підключити до комп'ютера через USB-

кабель або забезпечити живлення за допомогою адаптера AC/DC чи акумулятора. Arduino Mega 2560 сумісна з усіма розширеннями, призначеними для платформ Uno або Duemilanove [18]. Основні характеристики наведено в таблиці 2.1.

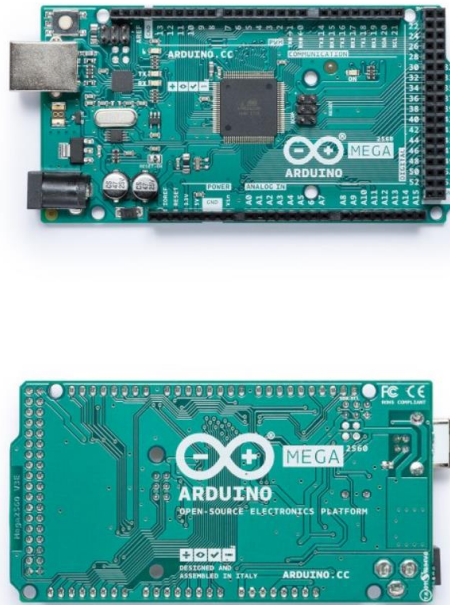


Рисунок 2.5 – Arduino Mega

Таблиця 2.1 – Основні характеристики Arduino Mega

Мікроконтролер	Atmega2560
Кількість цифрових входів/виходів	54
Кількість аналогових входів	16
Робоча напруга	5 В
Тактова частота	16 МГц
Інтерфейси	UART, ICSP, I2C
ОЗУ	8 кБ
Флеш-пам'ять	256 кБ
Розмір	10,15 см x 5,33 см

2.4.1.2 Arduino Nano

Платформа Nano (рис. 2.6), яка використовує мікроконтролер Atmega328 (Arduino Nano 3.0) або Atmega168 (Arduino Nano 2.x), має компактні розміри і підходить для лабораторних робіт. Вона має ті ж функції, що й Arduino Duemilanove, але відрізняється збіркою. Основні відмінності полягають у відсутності роз'єму для живлення постійного струму та використанні кабелю Mini-USB для підключення. Платформа Nano була розроблена та продається компанією Gravitech [19]. Основні характеристики наведено в таблиці 2.2.

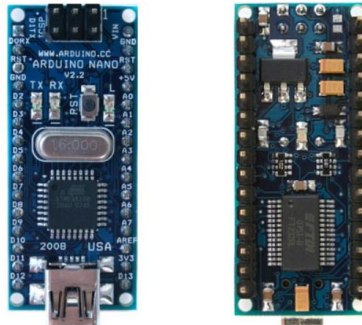


Рисунок 2.6 – Arduino Nano

Таблиця 2.2 – Основні характеристики Arduino Nano

Мікроконтролер	Atmel Atmega168 або Atmega328
Кількість цифрових входів/виходів	14
Кількість аналогових входів	8
Робоча напруга	5 В
Тактова частота	16 МГц
Інтерфейси	UART, SPI, I2C
ОЗУ	16 кБ (Atmega168) або 32 кБ (Atmega328)
Флеш-пам'ять	1 кБ (Atmega168) або 2 кБ (Atmega328)
Розмір	1,85 см x 4,2 см

2.4.1.3 Arduino UNO

Arduino Uno контролер побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових вхід/виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, USB-роз'єм, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою USB-кабелю, або подати живлення за допомогою адаптера AC/DC або батареї [20]. Основні характеристики наведено в таблиці 2.3.



Рисунок 2.7 – Arduino UNO

Таблиця 2.2 – Основні характеристики Arduino UNO

Мікроконтролер	Atmega328
Кількість цифрових входів/виходів	14
Кількість аналогових входів	6
Робоча напруга	5 В
Тактова частота	16 МГц
Інтерфейси	UART, SPI, I2C
ОЗУ	2 кБ
Флеш-пам'ять	32 кБ
Розмір	6,8 см x 5,3 см

2.4.2 Аналіз мікроконтролерів STM

Мікроконтролери STM, розроблені компанією STMicroelectronics, є одними з найпопулярніших і найпотужніших на ринку завдяки своїм високим технічним характеристикам та широкому спектру застосувань. Ці мікроконтролери відомі своєю надійністю, ефективністю та багатофункціональністю, що робить їх ідеальними для використання у різноманітних сферах: від побутової електроніки до промислових систем автоматизації. Сімейство мікроконтролерів STM32 включає різні серії, які відрізняються за продуктивністю, функціональністю та енергоспоживанням. Кожна серія орієнтована на вирішення певних завдань та задоволення різних потреб розробників. Мікроконтролери STM32 засновані на 32-розрядній архітектурі ARM Cortex, що забезпечує високу обчислювальну потужність та гнучкість.

2.4.2.1 STM32 Nucleo

Nucleo – це потужна платформа, побудована на ARM-процесорі. Вона ідеально підходить для розробки пристроїв, які вимагають високої продуктивності або виконання складних математичних обчислень. Платформа базується на 32-розрядному ARM-процесорі STM32F401 з ядром Cortex-M4, що працює на частоті 84 МГц.

За допомогою Nucleo можна використовувати кольорові дисплеї, обробляти аудіосигнали, керувати складними роботами з багатьма суглобами та навіть наділяти їх інтелектом.

Процесор має 512 кБ флеш-пам'яті та 96 кБ SRAM-пам'яті. Флеш-пам'ять працює як жорсткий диск у комп'ютері, тоді як SRAM виконує роль оперативної пам'яті.

Nucleo розроблений і вироблений швейцарською компанією STMicroelectronics, яка є одним з провідних виробників ARM-процесорів. Платформа працює при напрузі 3,3 В, але всі її входи та виходи сумісні з 5 В, тому ви можете підключати до неї будь-які модулі та шилди, розраховані на 5 В (рис. 2.8). Основні характеристики наведені в таблиці 2.3.

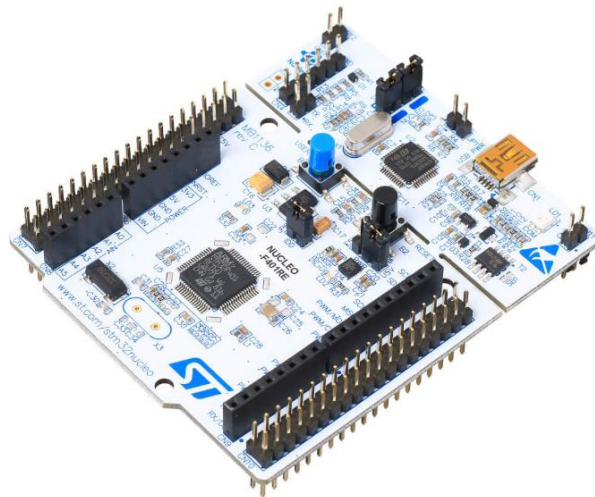


Рисунок 2.8 – STM32 Nucleo F401RE

Таблиця 2.3 – Основні характеристики STM32 Nucleo F401RE

Ядро	Cortex-M4
Кількість цифрових входів/виходів	14
Кількість аналогових входів	10
Робоча напруга	5 В
Тактова частота	16 МГц
Інтерфейси	UART, SPI, I2C
ОЗУ	64 кБ
Флеш-пам'ять	512 кБ
Розмір	7,3 см x 5,3 см

2.4.3 Аналіз мікроконтролерів ESP

Мікроконтролери серії ESP стали надзвичайно популярними у світі електроніки завдяки своїм розширеним можливостям та доступності. Вони відзначаються високою продуктивністю, інтеграцією з бездротовими технологіями та широкою підтримкою серед розробників. У цьому підрозділі розглянемо основні характеристики та застосування мікроконтролерів ESP, що робить їх привабливим вибором для різноманітних проектів.

2.4.3.1 ESP32

Контролер ESPDUINO-32 (рис. 2.9) від компанії WEMOS є пристроєм, який використовує мікроконтролер ESP32 і спеціально розроблений для використання з Arduino-сумісними платами у пристроях, що працюють з Wi-Fi мережами. Цей контролер має повну підтримку у середовищі розробки Arduino IDE, що дозволяє швидко та зручно почати роботу з новим пристроєм. Порівняно з контролером Arduino UNO, ESPDUINO-32 має трохи відмінне розташування інтерфейсних сигналів та іншу кількість аналогових входів, що важливо враховувати при розробці та використанні різних додатків і плат.

ESP32, на якому базується контролер, був спеціально створений для мобільних пристроїв, носимої електроніки та застосувань Інтернету речей (IoT). Він відзначається дуже низьким споживанням енергії завдяки використанню різних видів програмного забезпечення. Крім того, ESP32 має ряд передових функцій, таких як точна синхронізація годинника, різні режими живлення та динамічне керування споживаною потужністю. Всі ці особливості роблять ESPDUINO-32 і ESP32 привабливими виборами для розробки різноманітних пристроїв з підтримкою Wi-Fi та з низьким споживанням енергії.

Крім того, ESP32 підтримує як Wi-Fi, так і Bluetooth зв'язок, що забезпечує ще більшу гнучкість у виборі протоколів передачі даних. Завдяки цьому модуль може легко інтегруватися у вже існуючі мережі та системи. Наявність двох 32-бітних ядер і використання архітектури Xtensa LX6 дозволяють досягати високої продуктивності при одночасно низькому енергоспоживанні. Вбудовані функції безпеки, такі як криптографічні апаратні модулі, забезпечують високий рівень захисту даних, що особливо важливо для IoT пристроїв [23]. Основні характеристики наведені в таблиці 2.4.



Рисунок 2.9 – ESPduino-32

Таблиця 2.4 – Основні характеристики ESPduino-32

Мікроконтролер	ESP32
Кількість цифрових входів/виходів	36
Кількість аналогових входів	6
Робоча напруга	5 В
Тактова частота	240 МГц
Інтерфейси	SPI, I2C, UART, I2S, CAN
ОЗУ	520 кБ
Флеш-пам'ять	4 Мб
Розмір	6,8 см x 2,5 см

Серед зазначених вище контролерів, ідеальним варіантом буде Arduino UNO (рис. 2.7), через його надійність, невеликі розміри, доступність, оптимальну кількість інтерфейсів. Нам не потрібна велика кількість входів/виходів адже функціоналу не дуже багато, а от компактність дуже потрібна. Також він має низьке енергоспоживання та бездоганний контроль над часом та тривалістю подачі сигналів.

2.4.4 Аналіз двигунів

Двигун – дуже важлива частина всієї системи. Він приводитиме у рух виконавчий модуль тому важливо обрати мотор оптимальної потужності. Існують різні види двигунів, кожен з яких має свої особливості та підходить для певних завдань.

2.4.4.1 Двигуни постійного струму

Двигуни постійного струму – це електричні машини, які перетворюють енергію постійного електричного струму у механічну енергію обертання валу двигуна. Перетворення енергії відбувається за рахунок сил, які створюються магнітними полями.

Електродвигуни постійного струму (рис. 2.10) знаходять широке застосування в різних механізмах за рахунок їхньої простоти у використанні та універсальності. З їх допомогою можна регулювати швидкість і напрямок руху різних частин обладнання, що обертаються. Найрізноманітніші механізми, такі як вузли верстатів, роботи, дистанційно керовані машини та багато інших, мають у своєму складі двигуни постійного струму.

Конструкція цих двигунів доволі нескладна. Контакт обмоток ротора є джерелом живлення забезпечують щітки і комутатор. Частота обертання їх валу легко контролюється нескладними електронними регуляторами, а, якщо потрібна зміна напрямку обертання, використовуються мости на біполярних або польових транзисторах.



Рисунок 2.10 – Одно-осьовий двигун постійного струму

2.4.4.2 Крокові двигуни

Крокові двигуни (рис. 2.11) мають найбільше застосування у приводах тих механізмів, де потрібно мати велику точність переміщення або повертання рухомих частин цих механізмів. Це роботи, 3D-принтери, сервоприводи верстатів з ЧПУ та інші точні механізми. Один оберт валу крокового двигуна поділений на фіксовану кількість кроків. За один такт вал може повернутися на один крок, якому відповідає фіксований кут повороту вала. Ця його властивість дозволяє точно позиціонувати різноманітні частини механізму, де використовується цей двигун.

За рахунок своєї точності ці двигуни також використовуються в обладнанні з циклічними операціями. Для управління цим типом двигунів розроблені і застосовуються спеціальні електронні драйвери.



Рисунок 2.11 – Кроковий двигун SOYO NEMA23

2.4.4.3 Сервомотори

Сервомотори (рис. 2.12) є дуже популярними в проектах на Arduino завдяки їх простоті керування та точному контролю положення. Вони дозволяють здійснювати точний контроль положення в межах заданого діапазону. Вони можуть бути налаштовані для обертання на певний кут, зазвичай від 0 до 180 градусів. Позиція вала сервомотора визначається шириною імпульсу ШІМ (широтно-імпульсної модуляції), що надсилається на сигнальний провід.

Сервомотор складається з двигуна постійного струму, редуктора, потенціометра та електронної плати керування.

Потенціометр дозволяє контролеру визначати поточне положення вала та коригувати його відповідно до вхідного сигналу. Сервомотори часто використовуються в моделях роботів для керування руками, ногами та іншими рухомими частинами. Вони застосовуються в радіокерованих моделях, таких як літаки, автомобілі та човни, для керування кермом або елеронами. Також вони знаходять застосування в автоматизації, включаючи керування заслінками, дверцятами та іншими механічними елементами [16].



Рисунок 2.12 – Сервомотор SG92R

В результаті проведення аналізу було вирішено взяти кроковий двигун SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A (рис. 2.13). Цей двигун має стандартні розміри і кріплення, які дозволяють легко інтегрувати його у різні механічні системи та проекти. Він сумісний з багатьма драйверами крокових двигунів, що підтримують потрібний струм і напругу. NEMA 23 має оптимальну тримальну силу у 14 кг/см для утримання рухомого модуля керування. Завдяки своєму надійному виконанню та стабільній роботі, цей двигун стане ключовим компонентом у нашій системі, забезпечуючи необхідну потужність і точність для виконання завдань. Він також відзначається високою точністю позиціонування та повторюваністю. Цей двигун може працювати у широкому діапазоні температур, що робить його придатним для

використання в різних умовах, від промислових до побутових [11]. Основні характеристики наведені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.13 – Кроковий двигун SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A

Таблиця 2.5 – Основні характеристики SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A

Модель	57BYGH76-401A
Тримальна сила	14 кг/см
Номінальний струм	1 А на кожен обмотку
Опір на фазу	1,0 Ом
Індуктивність кожної обмотки	14 мГн
Кроків за оборот	200
Вал	Діаметр 6,35 мм
Розміри	5,64 см x 5,64 см x 7,6 см

2.4.5 Аналіз драйверів

Драйвера крокових двигунів – це особливі модулі, які забезпечують управління пристроями, сприяють їх ефективній роботі та відстежують працездатність. Крокові двигуни являють собою непрості конструкції, яким необхідний особливий контроль у вигляді драйвера. Основне завдання, яке виконує драйвер двигуна – ефективна зміна струму в обмотках. Існує кілька типів таких драйверів, які відрізняються в залежності від можливостей, функцій чи характеристик [4].

Після проведеного аналізу був зроблений висновок, що для керування кроковим двигуном найкращим варіантом буде драйвер ТВ6600 4А. Вибір даного типу драйвера зумовлений доступністю, компактністю та сумісністю з цим типом крокових двигунів.

Модуль потужного драйвера крокового двигуна ТВ6600 4А (рис. 2.14) на базі нової версії мікросхеми ТВ67S109AFTG, яка спроектована для створення професійних і аматорських систем ЧПУ на потужних крокових двигунах. Драйвер є продовженням популярного драйвера ТВ6600.

Використання ШІМ модуляції і інтелектуального керування струмом обмоток двигуна дозволяє підключити крокові двигуни широкого діапазону напруги живлення і струму – мікросхема обмежить максимальний струм обмоток двигуна на встановленому рівні. Наприклад: можна використовувати кроковий двигун з робочою напругою 5 В. при живленні силової частини більше 40 В для цього достатньо встановити перемикачами обмеження струму обмоток двигуна відповідно до його паспортних даних [5]. Основні характеристики наведені в таблиці 2.6.



Рисунок 2.14 – Драйвер крокового двигуна TB6600 4A

Таблиця 2.6 – Основні характеристики драйвера крокового двигуна TB6600 4A

Модель	TB6600 4A
Напруга живлення схеми керування	4,75-5,25 В
Напруга живлення силової частини	9-42 В
Максимальний струм обмоток двигуна	4 А
Номінальний тривалий струм	2 А
Максимальна частота ШІМ	100 кГц
Розміри	10,5 см x 7,5 см x 3,5 см

2.4.6 Аналіз датчиків

При проектуванні і виготовленні будь-яких електромеханічних пристроїв широко використовуються різноманітні датчики. Це можуть бути датчики кута повороту, положень рухомих частин і об'єктів, рівня рідини тощо. У модулі, що проектується, необхідно мати датчики для відслідковування кінцевих позицій повороту двигуна. Також необхідно мати датчик середнього (нейтрального) положення джойстика, що керує поворотом транспортного засобу.

2.4.6.1 Контактні датчики

Контактними називаються датчики, на які безпосередньо спрямовується дія об'єктів, тобто для їх спрацювання повинен виникнути механічний контакт об'єкта з датчиком. Такі датчики можуть фіксувати положення, вагу, тиск і інші механічні зміни. Вони відіграють важливу роль у багатьох системах автоматики, створюючи зворотній зв'язок між механічною та електронною частинами обладнання.

Контактні датчики доволі широко розповсюджені, мають широку номенклатуру і можуть мати різноманітну конструкцію.

2.4.6.2 Механічні кінцеві вимикачі

Механічні кінцеві вимикачі (рис. 2.15) є різновидом контактних датчиків, які застосовуються для визначення крайніх положень рухомих елементів та деталей у різних механізмах.

Коли рухомий елемент або деталь опиняється у визначеному положенні, вона натискає на важіль кінцевого вимикача. Важіль, в свою чергу, механічно діє на контактну групу перемикача, що приводить до замикання або розмикання електричного ланцюга, з яким зв'язаний даний кінцевий вимикач. В результаті схема автоматики отримує сигнал про те, що рухома частина механізму або деталь досягла визначеної позиції. Отже, автоматика може відповідно реагувати (почати обробку деталі, зупинити двигун тощо).

Такі вимикачі можуть мати різноманітну конструкцію в залежності від того, для чого вони застосовуються. Чутливим елементом кінцевого вимикача може бути довгий пруток, важіль, важіль з роликом, шток з роликом тощо. Ролик зменшує тертя і підвищує довговічність вимикача. Таке різноманіття конструкцій дозволяє використовувати кінцеві вимикачі практично у будь-якій системі. Завдяки їх нескладній будові вони є недорогими та недефіцитними.

Кінцеві вимикачі застосовуються у багатьох сферах виробництва, а також на транспорті, у побутовій техніці, у медичному обладнанні тощо.



Рисунок 2.15 – Кінцевий вимикач L52K13MEP123 Emas

Також дуже велика їх кількість побудована на базі мікроперемикачів. Мікроперемикач – це контактний датчик, спрацювання якого відбувається при натисканні важеля або кнопки на його корпусі. Цей сенсор має невеликі розміри і герметичну конструкцію, що захищає його контакти від забруднень. Тому ці датчики доволі надійні і довговічні, ресурс їхньої роботи, в основному, визначається надійністю їхньої контактної системи.

Це один із найпоширеніших, надійніших і недорогих компонентів для використання у різних приладах та механізмах, де потрібно контролювати крайні положення рухомих частин. Мікроперемикачі використовуються у різноманітних схемах автоматики, у робототехніці, промислового обладнанні і в багатьох інших сферах.

Після проведеного аналізу можна зробити висновок, що для даного проєкту найкращим та найпростішим варіантом буде кінцевий вимикач KW4-3Z (рис. 2.16). Він є поширеним типом механічного перемикача, який використовується для визначення кінцевого положення рухомих частин у різних механізмах і пристроях.

А найголовніша його перевага для даного проєкту – його герметичність. Транспортний засіб, для якого проєктується цей мехатронний модуль, буде використовуватися у складних польових умовах, де є висока запиленість. Тому кінцеві вимикачі, які застосовуються повинні мати захист контактної групи від пилу [12]. Основні характеристики наведені в таблиці 2.7.



Рисунок 2.16 – Кінцевий вимикач KW4-3Z

Таблиця 2.7 – Основні характеристики KW11-3Z

Модель	KW4-3Z
Максимальний струм	5 А
Максимальна напруга	250 В
Температурний діапазон	від -25 °С до +85 °С
Сила натискання	0,98 Н
Розміри	2,78 см x 1,03 см x 1,59 см

2.4.6.3 Енкодери

Енкодери (рис. 2.17) – це такі датчики, які мають свій власний вал, що обертається. При обертанні цього валу енкодер видає цифровий сигнал в якому є інформація про швидкість обертання або кут повороту. Мають дуже широку сферу використання у системах автоматики, вимірювальної техніки тощо. Поділяються на інкрементальні і абсолютні.

Інкрементальні енкодери використовуються для визначення положення об'єкта відносно його початкового стану. Також можуть використовуватися для визначення швидкості обертання. Вони мають велику роздільну здатність, що дозволяє точно контролювати положення або швидкість об'єкта. При обертанні вала енкодера генеруються імпульси, кількість яких пропорціональна куту

обертання вала. Для визначення абсолютного кута повороту необхідно фіксувати початкове положення вала датчика.

Абсолютні енкодери відрізняються від інкрементальних тим, що у будь-якому положенні вала мають на виході певний код, який залежить тільки від положення вала енкодера. На основі цього коду можна мати уявність про точне положення вала. Цей код зберігається у енергонезалежній пам'яті навіть тоді, коли вимикається джерело живлення пристрою, в складі якого працює цей енкодер. Після відновлення живлення інформація про положення вала енкодера не губиться. Ця властивість даного типу енкодера дуже важлива, коли потрібно контролювати положення вала після перезавантаження системи або аварійного зникнення напруги живлення. Такі енкодери використовуються в прецизійних механізмах, системах керування, а також в інших випадках, коли потрібна висока точність вимірювання і енергонезалежність цих даних.



Рисунок 2.17 – Абсолютний енкодер Autonics EP50S8-720-2F-N-24

2.4.6.4 Безконтактні датчики

Принцип дії безконтактних датчиків (рис. 2.17) ґрунтується на зміні амплітуди коливань генератора при внесенні до чутливої зони датчика конкретного матеріалу певних розмірів. Відстань перемикання пристрою визначається залежно від потреб процесу і різновиду датчика. Безконтактний спосіб розпізнавання об'єкта впливу дозволяє істотно підвищити надійність роботи пристрою через відсутність рухомих і тертьових деталей.

Перелік функціональних можливостей безконтактних датчиків є широким. Виявлення положення об'єкта, підрахунок, позиціонування та сортування предметів на конвеєрах, контроль переміщення та швидкості, виявлення поломок механізмів, визначення кута повороту, вимірювання перекосу та ще багато інших функцій закладено у поняття «датчик наближення», як ще називають безконтактний вимикач.

Саме тому їх використовують у різних галузях: від металообробки до харчового виробництва, як елемент автоматизації транспорту і для контролю в станкобудуванні, для керування водогазом, нафтопостачанням і на морських нафтопереробних платформах.



Рисунок 2.17 – Бесконтактный датчик sja12-10n1

2.4.6.5 Індуктивні датчики

Індуктивні датчики (рис. 2.18) реагують на металеві, магнітні, феромагнітні чи аморфні матеріали потрібних розмірів. Ефект досягається за рахунок зміни амплітуди коливань генератора за умови потрапляння об'єкта в чутливу зону датчика. Напрямок виробництва індуктивних датчиків дуже добре розвинений. За конструкцією вони бувають і круглі, і квадратні, і прямокутні, та інших форм. За матеріалами, з яких виготовлений датчик, це буває і пластикові, і металеві з пластиковим торцем, що закриває чутливий елемент, цілісний металевий для жорстких умов експлуатації за високих температур і тисків.

За вибірковістю датчики визначають наявність будь-яких металів, наприклад, є вибіркові до певних видів металів, наприклад, або до міді, або до сталі.

Існують індуктивні датчики, що визначають дистанцію до металевого об'єкта. За вихідними сигналами великий вибір від типових рnr або рnr виходів, бувають двопровідні індуктивні датчики Namur, у тому числі й вибухозахищені, є маса датчиків, що налаштовуються через певні цифрові інтерфейси. Індуктивні датчики визначають наявність будь-якого металу на певній відстані, і мають дискретний, «нормально відкритий», рnr вихід: якщо є метал у зоні чутливості, він видає сигнал, якщо металу немає в зоні чутливості, він видає 0 [9].



Рисунок 2.18 – Індуктивний датчик XS9D111A2L2

2.4.6.6 Оптичні датчики

Оптичні безконтактні датчики (рис. 2.19) виявляють контрольовані об'єкти, що відображають або переривають оптичне випромінювання. Комутаційний елемент оптичних безконтактних датчиків напівпровідниковий або релейний. Дальність цих датчиків може досягати значення 150 метрів. Оптичні датчики дозволяють виконувати безконтактний вимір, визначати положення об'єктів, що переміщуються з великою швидкістю. Відстань виявлення може досягати сотень метрів, а точність визначення положення об'єкта досягатиме десятих часток мікрона. Два основних параметри – велика відстань спрацьовування та можливість виявлення будь-якого об'єкта – відрізняє дані датчики від подібних пристроїв.

Оптичний датчик, як правило, складається з випромінювача (джерела) та ресивера оптичних випромінювань. Конструктивно ці два елементи можуть розташовуватися в одному корпусі (так звані моноблочні датчики), або в окремих корпусах (двоблочні оптичні датчики, відповідно).

T – тип або THRU-BEAM (рознесена оптика) або датчики переривання оптичного променя. Складаються з приймача та випромінювача, що встановлюються один навпроти одного. Об'єкт, проходячи між приймачем та випромінювачем, перериває оптичний промінь, що призводить до зміни стану вихідного ключа приймача.

R – тип або RETRO (з відображенням світлоповертача/рефлектора). Випромінювач та приймач знаходяться в одному корпусі. Оптичний імпульс, надісланий випромінювачем, відбивається від рефлектора і потрапляє на приймач. Переривання променя об'єктом, розташованим між рефлектором і датчиком, призводить до зміни стану вихідного ключа датчика.

D – тип або DIFFUSE (з відображенням об'єкта). Відображення оптичного променя походить безпосередньо від об'єкта виявлення. За відсутності об'єкта оптична лінія розімкнена, при наближенні до датчика об'єкта, частина енергії (залежить від кольору об'єкта та його шорсткості) оптичного імпульсу відбивається від об'єкта і потрапляє на приймач датчика розташований в одному корпусі з випромінювачем, що призводить до зміни стану вихідного ключа.

На малих відстанях, у межах «мертвої зони» датчики R - типу сприймають об'єкт як відбивач, у результаті виявлення об'єкта немає. Для виключення таких випадків слід застосовувати датчики з поляризаційним фільтром [14].



Рисунок 2.19 – Оптичний датчик SSD/0P-0E MICRO DETECTORS

2.4.6.7 Магнітні датчики

Магнітні датчики (рис. 2.20) працюють на основі ефекту Холла, який полягає в тому, що коли в магнітне поле поміщений провідник з током, виникає поперечна електрорушійна сила. Цей ефект також використовується в системах автоматики та вимірювальній техніці для визначення положення об'єктів, вимірювання магнітних полів та напрямку руху. Такі датчики поділяються на аналогові та цифрові. В аналоговому датчику Холла рівень вихідного сигналу залежить від напруженості магнітного поля. Завдяки цій властивості такі датчики використовуються більше у вимірювальній техніці. Цифрові датчики Холла мають на виході тригер Шмітта, завдяки якому вони можуть точно визначати моменти проходження датчиків повз магніти. Ці датчики використовуються здебільшого для визначення позицій рухомих частин обладнання. Цифрові датчики Холла можуть бути уніполярними та біполярними. Уніполярні датчики реагують тільки на один магнітний полюс. На протилежний магнітний полюс датчик не реагує. Біполярний датчик активується одним полюсом і залишається в активному стані навіть при зникненні магнітного поля, а деактивується протилежним полюсом магніту.

За допомогою датчиків Холла можна вимірювати швидкість обертання вала двигуна, вести підрахунок кількості виробленої продукції, точне вимірювання кутів повороту в робототехнічних системах.

Також датчики Холла широко використовуються в автомобільній, комп'ютерній техніці і мобільних пристроях.



Рисунок 2.20 – Кутовий датчик положення А1324

Для відслідковування середнього положення джойстика скористаємося CAP18 U1.K (рис. 2.21). Датчик CAP18 U1.K є ємнісним датчиком наближення, призначеним для виявлення об'єктів без прямого контакту.

Ємнісні датчики використовуються в різних промислових застосуваннях для контролю положення, рівня рідин та інших завдань, де необхідно безконтактне виявлення об'єктів. Вони мають підвищену стійкість до механічних навантажень, впливу високих температур і агресивних середовищ, а також можуть експлуатуватися в складних умовах. Вони також мають високу чутливість до неметалічних об'єктів, надійно працюють в різних середовищах, а безконтактне виявлення об'єктів забезпечує довгий термін служби.

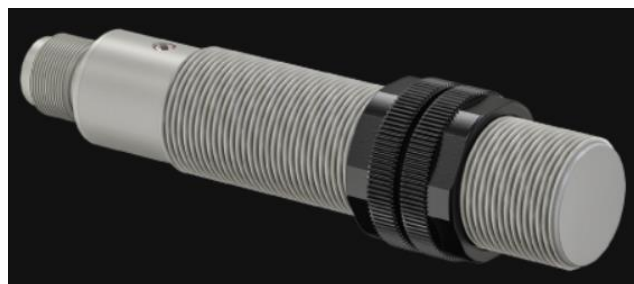


Рисунок 2.21 – Ємнісний датчик CAP18 U1.K

Після проведеного аналізу був зроблений висновок, що для фіксації нейтрального положення джойстика найкращим варіантом буде ємнісний датчик CAP18 U1.K (рис. 2.21).

Вибір даного типу датчика зумовлений тим, що, по-перше, джойстик рухається в різні боки відносно датчика середнього положення. Тому контактний датчик застосувати було б складно. По-друге цей датчик працює в складних умовах і має бути герметичним. Застосування оптичного датчика у даному випадку не виправдане, тому що його лінзи будуть покриватися пилом і такий датчик не буде надійно працювати [7]. Основні характеристики ємнісного датчика CAP18 U1.K наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Основні характеристики CAP18 U1.K

Модель	CAP18 U1.K
Відстань дальності дії	16 мм (заглиблене вик.) 25 мм (незаглиблене вик.)
Максимальна напруга	30 В
Максимальний струм навантаження	300 мА
Час відгуку	1,5 мс
Температурний діапазон	від -25 °С до +70 °С
Розміри	Діаметр корпусу 18 мм

2.4.7 Аналіз електромагнітних реле

Електромагнітні реле (рис. 2.22) – це один з типів електронних пристроїв управління. Електромагніти використовуються для управління комутацією робочих ланцюгів. Зазвичай вони використовуються в автоматичних схемах управління. Вони насправді є "автоматичним вимикачем", який використовує малий струм для управління великими струмами.

Електромагнітні реле зазвичай складаються із залізного сердечника, котушки, арматури та контактної пружини. Поки певна напруга подається по всій котушці, в котушці тече певний струм, створюючи тим самим електромагнітний ефект. Арматура подолає напругу пружинного шматка, щоб притягнути залізну серцевину під дією притягання електромагнітної сили, тим самим приводячи в рух рухомий контакт арматури і статичний контакт (зазвичай відкритий контакт). Коли котушка знеструмлена, електромагнітне притягання також зникне, і арматура повернеться у вихідне положення під напругою пружинного шматка, так що рухомий контакт відключається від початкового статичного контакту (як правило, закритого контакту) (позначається як "звільнений"). Реле досягає мети вмикання або вимикання ланцюга шляхом всмоктування і випуску. Електромагнітні реле бувають постійного та змінного струму [6]. Основні характеристики електромагнітного реле RELPOL RM96-1021-35-1005 наведені в таблиці 2.9.



Рисунок 2.22 – Реле RELPOL RM96-1021-35-1005

Таблиця 2.9 – Основні характеристики RELPOL RM96-1021-35-1005

Модель	CAP18 U1.K
Контакти	SPST-NO
Максимальний струм контактів	8 А
Комутована напруга	макс. 120В DC, макс. 440В AC
Виконання реле	мініатюрне
Монтаж	PCB
Час спрацьовування	10 мс
Розміри	2,8 см x 10 см x 1,62 см

Для використання у даному модулі підходить реле RELPOL RM96-1021-35-1005 (рис. 2.22) з напругою котушки 5 В і током контактної групи 8 А.

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

3.1 Експериментальна частина

Схема підключення компонентів виконавчого модуля виглядає наступним чином (рис. 3.1). Схема може працювати у виконавчому модулі, який, в свою чергу, керує джойстиком, що повертає транспортний засіб ліворуч або праворуч. Також вона дозволяє керувати його рухом.

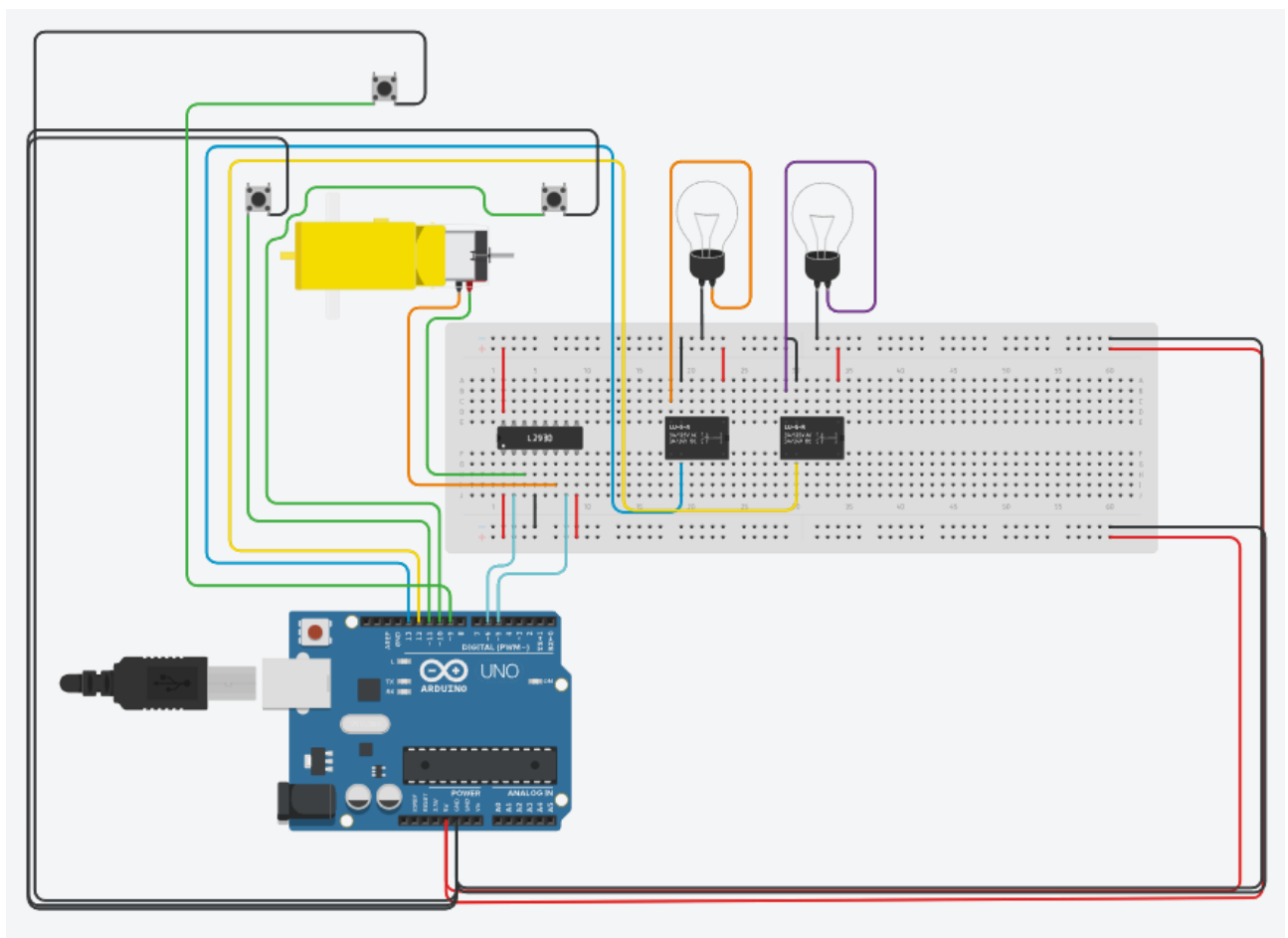


Рисунок 3.1 – Схема підключення компонентів виконавчого модуля

Розробка і моделювання роботи схеми проводилось за допомогою онлайн-сервісу Tinkercad.

Основним компонентом цієї схеми є контролер Arduino Uno, який запрограмовано у відповідності до розглянутого алгоритму. Виконавчими пристроями схеми є електродвигун і два електромагнітних однополюсних реле. Контролер керує двигуном за допомогою спеціалізованого драйвера. Лампи розжарювання, які показані на схемі, використовуються в якості індикаторів спрацювання електромагнітних реле. В якості датчиків крайніх та середнього положень рухомої частини модуля використовуються два кінцевих вимикача. Елементи конструкції змонтовані на макетній платі і з'єднані між собою згідно з електричною схемою.

При надходженні команди про рух транспортного засобу вперед спрацьовує одне з електромагнітних реле, яке своїми контактами дублює відповідні контакти перемикача в кабіні транспортного засобу. У даному макеті воно вмикає відповідну індикаторну лампочку.

Якщо надходить команда повороту транспортного засобу, контролер дає керуючий сигнал на драйвер, який запускає електродвигун у відповідному напрямі. Двигун через ремінну передачу починає повертати рухому частину модуля і разом з нею рухати джойстик, з яким ця частина модуля механічно зв'язана. Коли джойстик досягає активного положення, спрацьовує один з кінцевих вимикачів, подаючи керуючий сигнал до контролера. Контролер вмикає двигун, джойстик при цьому залишається в активному положенні, а транспортний засіб повертається в потрібному напрямі.

Коли надходить команда зупинки повороту транспортного засобу, контролер дає керуючий сигнал на драйвер, який запускає електродвигун який приводить в дію рухому частину яка повертає джойстик у середнє (нейтральне) положення. Це положення фіксується завдяки наявності датчика середнього положення рухомої частини модуля. У момент, коли ця частина знаходиться в середньому положенні, цей датчик спрацьовує і дає сигнал на контролер, який, в свою чергу, зупиняє двигун. Джойстик фіксується в нейтральному положенні.

3.2 Принцип роботи коду

Першим блоком коду (рис. 3.2) є оголошення констант та ініціалізація змінних. У рядках `#define M_plus 5` і `#define M_minus 6` за допомогою операції препроцесора `define` позначаємо підключення контактів двигуна до п'ятого і шостого піна. Далі у рядках `int buttonLeft = 11`, `int buttonRight = 10`, `int buttonMiddle = 9` позначимо підключення контактів кнопок, що імітуватимуть роботу датчиків. По одній для визначення нейтрального положення, руху праворуч та ліворуч, дев'ятий, десятий і одинадцятий піни відповідно. Змінна `int dir = 0` використовується контролером для розуміння в яку сторону треба рухати двигун для переходу у нейтральне положення.

```
#define M_plus 5
#define M_minus 6

int buttonLeft = 11;
int buttonRight = 10;
int buttonMiddle = 9;
int dir = 0;
```

Рисунок 3.2 – Перший блок коду

У другому блоці коду (рис. 3.3), спочатку, ініціалізуємо порт `Serial.begin(9600)`. Далі за допомогою команди `pinMode` встановлюємо як виходи піни для двигуна `pinMode(M_plus, OUTPUT)`, `pinMode(M_minus, OUTPUT)` і піни 12, 13 для індикаторних лампочок. Для кнопок встановлюємо піни як входи.

```

void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  pinMode(M_plus, OUTPUT);
  pinMode(M_minus, OUTPUT);
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);

  pinMode(buttonLeft, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonRight, INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonMiddle, INPUT_PULLUP);
}

```

Рисунок 3.3 – Другий блок коду

Третій блок коду (рис. 3.4, 3.5) – це функції руху двигуна ліворуч void GoLeft(), праворуч void GoRight() та зупинки Stop().

```

void GoRight ()
{
  digitalWrite(13, LOW);
  digitalWrite(12, LOW);
  digitalWrite(M_plus, LOW);
  digitalWrite(M_minus, HIGH);

  while (digitalRead(buttonRight)== 1)
  {
  }

  Stop();
}

void Stop()
{
  digitalWrite(M_plus, LOW);
  digitalWrite(M_minus, LOW);
  digitalWrite(12, LOW);
  digitalWrite(13, LOW);
}

```

Рисунок 3.4 – Третій блок коду (функції GoRight() і Stop())

```

void GoLeft()
{
    digitalWrite(13, LOW);
    digitalWrite(12, LOW);
    digitalWrite(M_plus, HIGH);
    digitalWrite(M_minus, LOW);

    while (digitalRead(buttonLeft) == 1)
    {

    }

    Stop();
}

```

Рисунок 3.5 – Третій блок коду (функція GoLeft())

Перед запуском команди обертання двигуна `digitalWrite(M_plus, HIGH)` використовуються команди вимкнення індикаторних лампочок `digitalWrite(13, LOW)`, `digitalWrite(12, LOW)`. Комбінація команд `digitalWrite(L_plus, HIGH)` `digitalWrite(L_minus, LOW)` призводить до руху двигуна ліворуч. При натисканні кнопки `buttonLeft`, що є імітацією датчика кінцевого положення джойстика, виконується цикл `while (digitalRead(buttonLeft) == 1)`, який викликає функцію `Stop()` та зупиняє рух двигуна. Вона зупиняє двигун комбінацією команд `digitalWrite(M_plus, LOW)` і `digitalWrite(M_minus, LOW)`, а індикаторні лампочки командами `digitalWrite(12, LOW)` і `digitalWrite(13, LOW)`. Аналогічна ситуація відбувається для функції руху двигуна праворуч `void GoRight()`. Різниця лише в напрямку руху двигуна та в кнопці яка імітує датчик. Тут це буде `buttonRight`.

Четвертий блок коду (рис. 3.6) являє собою функцію `void GoMiddle()`, що повертає двигун у середнє положення. Вона перевіряє змінну `dir`, щоб зрозуміти в яку сторону повинен рухатись двигун для досягнення середнього положення. Якщо `dir == 1`, це значить, що двигун має рухатись праворуч для досягнення середнього положення. Це досягається за допомогою комбінації команд `digitalWrite(L_plus, LOW)` і `digitalWrite(L_minus, HIGH)`. Аналогічно, якщо `dir == -1`, то двигун має

рухатись ліворуч для досягнення середнього положення. При натисканні кнопки `buttonMiddle`, що є імітацією датчика кінцевого положення джойстика, виконується цикл `while (digitalRead(buttonLeft) == 1)`, який викликає функцію `Stop()` та зупиняє рух двигуна і вимикає індикаторні лампочки.

```
void GoMiddle()
{
  if (dir == 1)
  {
    digitalWrite(M_plus, LOW);
    digitalWrite(M_minus, HIGH);
  }

  else if (dir == -1)
  {
    digitalWrite(M_plus, HIGH);
    digitalWrite(M_minus, LOW);
  }

  while (digitalRead(buttonMiddle) == 1)
  {
  }

  Stop();
}
```

Рисунок 3.6 – Четвертий блок коду

П'ятим блоком коду (рис. 3.7) є функція `void splitString(String str, char rozdilnuk)`, яка розбиває вхідний рядок `str` на підрядки за допомогою роздільника `rozdilnuk`. Змінна `startIndex` слугує для зберігання індексу початкового індексу підрядка, який необхідно виділити з вхідного рядка `str`. Змінна `endIndex` потрібна для зберігання позиції де знаходиться роздільник у рядку `str`.

```

void splitString(String str, char rozdilnuk)
{
    int startIndex = 0;
    int endIndex = str.indexOf(rozdilnuk);

    while (endIndex != -1)
    {
        String number = str.substring(startIndex, endIndex);

        if (number == "11")
        {
            digitalWrite(13, HIGH);
            digitalWrite(12, LOW);
        }

        if (number == "12")
        {
            digitalWrite(12, HIGH);
            digitalWrite(13, LOW);
        }
    }
}

```

Рисунок 3.7 – П'ятий блок коду

Метод `indexOf(rozdilnuk)` повертає індекс першого символу роздільника `rozdilnuk` у рядку `str`. Далі у циклі `while (endIndex != -1)` функція продовжує оброблювати вхідний рядок доки, доти знаходить роздільник. Далі вона оброблює підрядок згідно з умовами циклу. Метод `String number = str.substring(startIndex, endIndex)` використовується для виділення частини рядка. Він виділяє підрядок починаючи з індекса `startIndex` і закінчуючи індексом `endIndex`.

На контролер надходить строка виду: `1 12 1500` де першим значенням є адрес контролера, далі код команди і значення даних. У даній програмі використовуються наступні коди команд:

- 11. При рівності спрацьовують команда ввімкнення індикаторної лампочки `digitalWrite(13, HIGH)` і вимкнення індикаторної лампочки `digitalWrite(12, LOW)`;
- 12. Аналогічно до коду команди 11 але команда ввімкнення індикаторної лампочки `digitalWrite(12, HIGH)`;
- 13. При рівності спрацьовує функція `GoLeft()`, що запускає поворот двигуна ліворуч. Також встановлюється значення змінної `dir = 1`;

– 14. Аналогічно до коду команди 13 але спрацьовує функція GoRight(), та встановлюється значення змінної dir = -1;

– 23. При рівності спрацьовує функція GoMiddle(), що повертає джойстик у середнє положення і вимикає двигун. Встановлюється значення змінної dir = 0.

Команда startIndex = endIndex + 1 оновлює значення змінної startIndex щоб вона вказувала на наступну позицію.

Шостий блок коду (рис. 3.8) – це функція void loop(), у якій перевіряється наявність даних у послідовному інтерфейсі. Команда String inputString = Serial.readStringUntil('\n') зчитує рядок до символу наступного рядка. Команда Serial.println("Input string: " + inputString) виводить цей рядок у послідовний інтерфейс. Функція void loop() викликає функцію splitString(inputString, ' ') яка оброблює вхідний рядок.

```
void loop()
{
  if (Serial.available() > 0)
  {
    String inputString = Serial.readStringUntil('\n');
    Serial.println("Input string: " + inputString);
    splitString(inputString, ' ');
  }
}
```

Рисунок 3.8 – Шостий блок коду

Робота програми при введенні команд зображена на рисунках 3.9 – 3.14. Повний код програми представлено у додатку А.

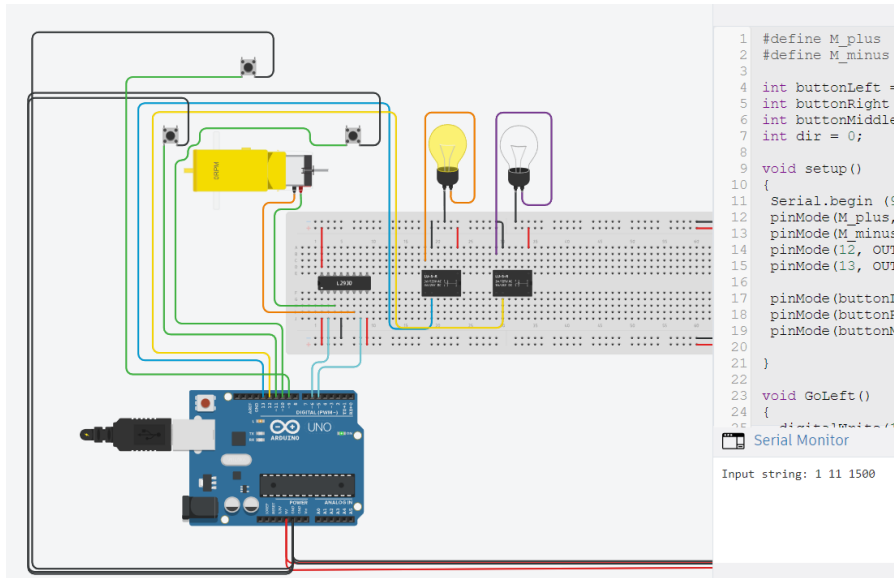


Рисунок 3.9 – Робота команди з кодом 11

На рисунку 3.9 зображено роботу схеми при виконанні команди “рух вперед”.

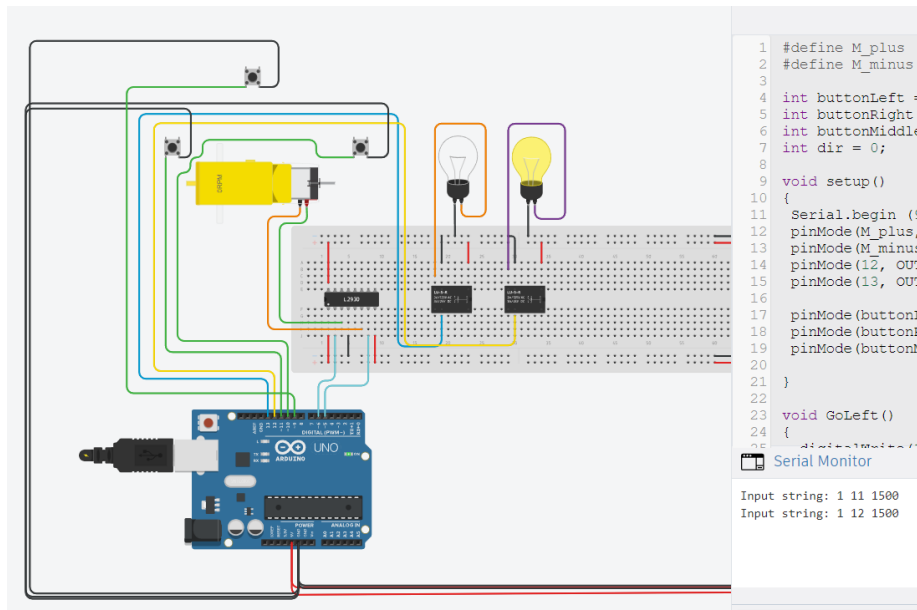


Рисунок 3.10 – Робота команди з кодом 12

На рисунку 3.10 – при виконанні команди “рух назад”.

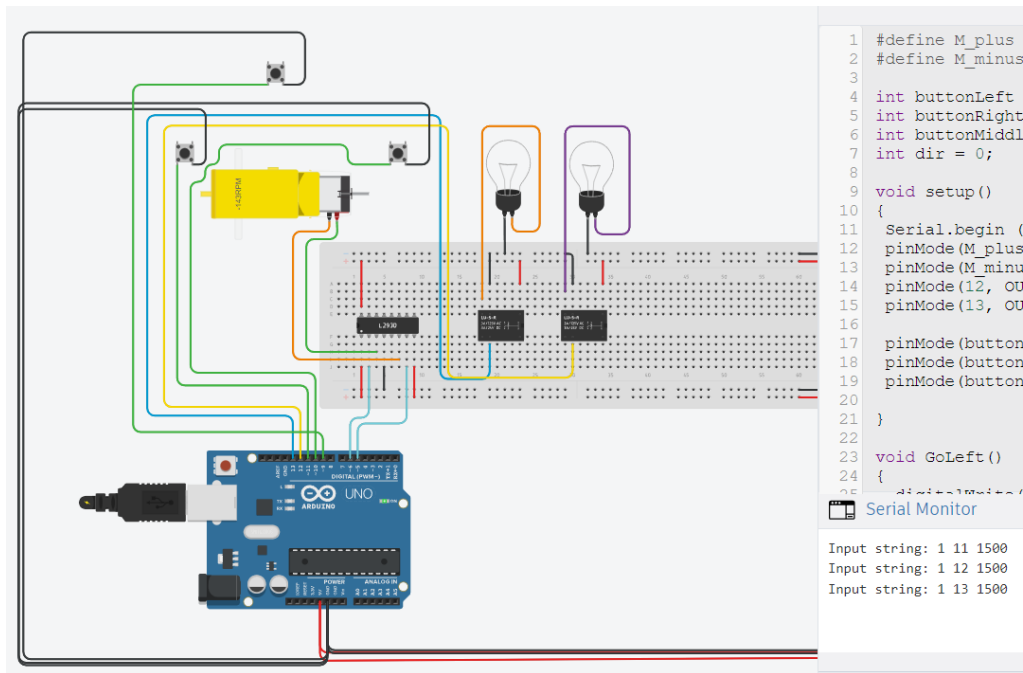


Рисунок 3.11 – Робота команди з кодом 13

На рисунку 3.11 – при виконанні команди “рух транспортного засобу ліворуч”.

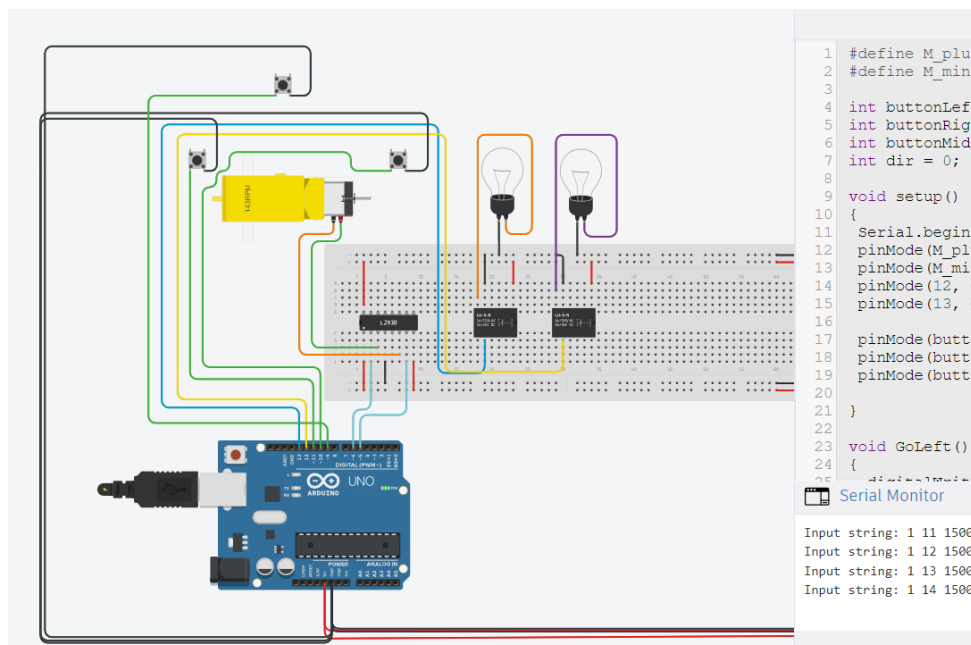


Рисунок 3.12 – Робота команди з кодом 14

На рисунку 3.12 – при виконанні команди “рух транспортного засобу праворуч”.

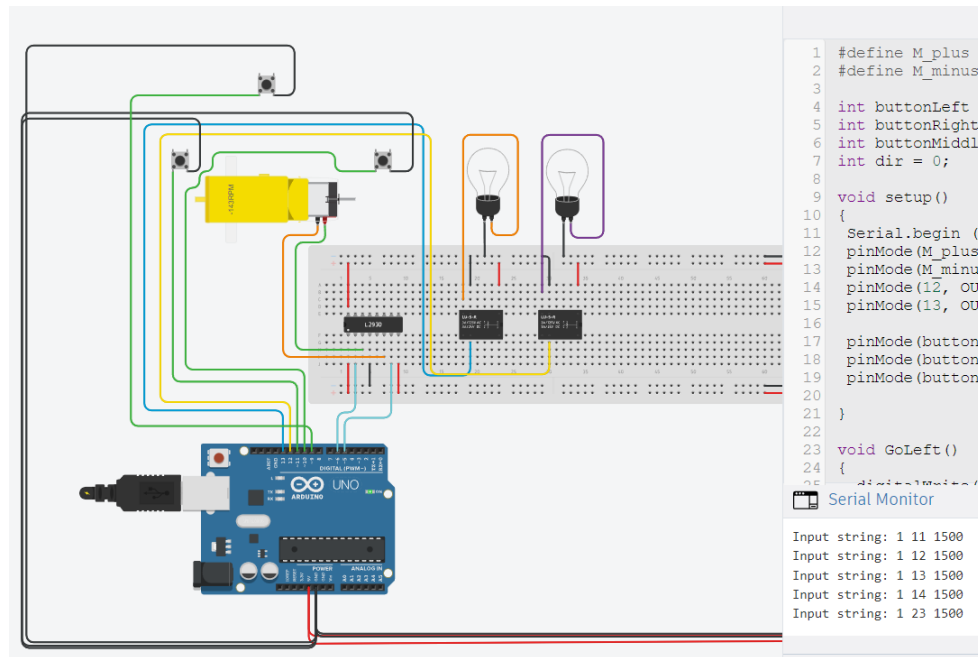


Рисунок 3.13 – Робота команди з кодом 23 (рух ліворуч)

На рисунку 3.13 – при виконанні команди “зупинка руху (повернення джойстика в середнє положення ліворуч)”.

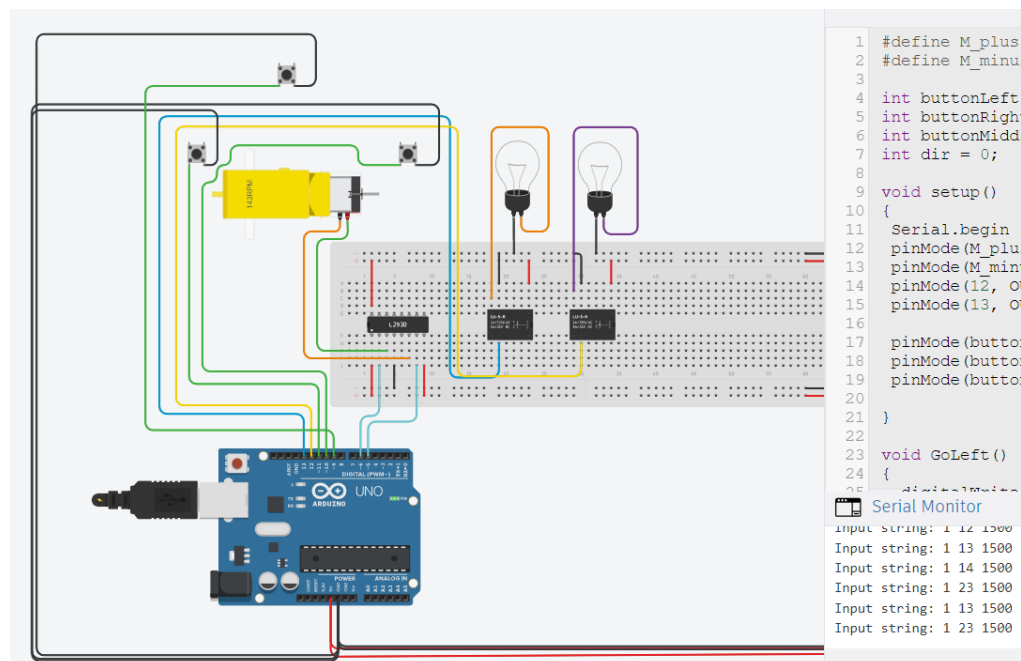


Рисунок 3.14 – Робота команди з кодом 23 (рух праворуч)

На рисунку 3.14 – при виконанні команди “зупинка руху (повернення джойстика в середнє положення праворуч)”.

3.3 Розрахунок моменту сили

Момент сили – векторна фізична величина, що дорівнює векторному добутку радіус-вектора, проведеного від заданої точки (відносно якої він розраховується) до точки прикладення сили, на вектор цієї сили. Момент сили є мірою зусилля, спрямованого на обертання тіла (рис. 3.1) [13].

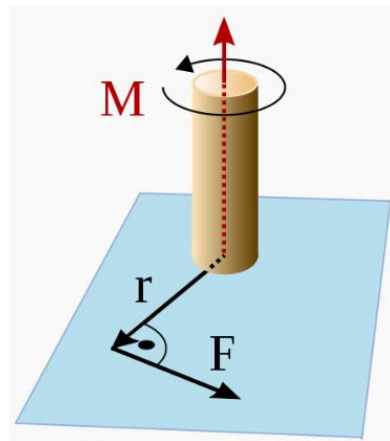


Рисунок 3.15 – Момент сили

Для розрахунку моменту сили на редукторі скористаємося формулою (3.1):

$$M = F \cdot r, \quad (3.1)$$

де F – сила, яка діє на матеріальну точку, Н;

r – відстань від точки до осі обертання, м.

За допомогою динамометра виміряємо силу, яку потрібно прикласти для повороту джойстика. Вона дорівнює 12 ньютонам. Відстань до редуктора дорівнює 25 мм. Підставивши значення у формулу (3.1) маємо:

$$M = 12 \cdot 0,025 = 0,3 \text{ Н/м.}$$

Отже, момент сили на редукторі дорівнює $0,3 \text{ Н/м} \approx 3 \text{ кг/см}$.

4 РОЗРАХУНОК ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ДВИГУНА

4.1 Моделювання динаміки управління крокового двигуна типу SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A

Передавальна функція крокового двигуна розраховується за наступною формулою (4.1):

$$W(s) = \frac{k_{\text{ДВ}}}{s(T_{\text{д}}^2 s^2 + 2T_{\text{д}} s \zeta_{\text{д}} + 1)}, \quad (4.1)$$

де $k_{\text{ДВ}}$ – коефіцієнт підсилення для системи керування двигуном (4.2);

$T_{\text{д}}$ – постійна часу системи;

$\zeta_{\text{д}}$ – коефіцієнт затухання;

$$k_{\text{ДВ}} = \frac{k_{\text{М}}}{R_{\text{а}} k_{\text{v}} \pm k_{\text{М}} k_{\text{С}}}, \quad (4.2)$$

де $k_{\text{М}}$ – коефіцієнт підсилення двигуна;

$R_{\text{а}}$ – опір якоря двигуна;

k_{v} – постійна швидкості двигуна;

$k_{\text{С}}$ – коефіцієнт підсилення контролера або коефіцієнт зворотного зв'язку.

З технічної інформації про двигун маємо такі параметри:

– коефіцієнт підсилення двигуна $k_{\text{М}} = 0,02$ Н/м/А;

– опір якоря двигуна $R_{\text{а}} = 1$ Ом;

– постійна швидкості двигуна $k_{\text{v}} = 0,1$ рад/с/В;

– коефіцієнт зворотного зв'язку $k_{\text{С}} = 1$;

– коефіцієнт затухання $\zeta_{\text{д}} = 0,7$.

Підставивши відповідні значення у формулу (4.2) отримуємо коефіцієнт підсилення для системи керування кроковим двигуном SOYO NEMA23

SY57STH76-1006A (рис. 2.13):

$$k_{дв} = \frac{0,02}{1 \cdot 0,1 + 0,02 \cdot 1} = 0,16. \quad (4.3)$$

Постійна часу системи T_d розраховується за формулою (4.4):

$$T_d = \frac{L}{R}, \quad (4.4)$$

де L – індуктивність;

R – опір обмоток.

З технічної інформації маємо:

– індуктивність $L = 0,0014$ Гн;

– опір обмоток $R = 1,13$ Ом.

Підставивши відповідні значення у формулу (4.4) отримуємо:

$$T_d = \frac{0,0036}{1,13} = 0,0012 \text{ с.} \quad (4.5)$$

Отримані дані підставляємо у формулу (4.1) і отримуємо передавальну функцію крокового двигуна:

$$W(s) = \frac{0,16}{s(0,00001024s^2 + 0,0031s+1)}. \quad (4.6)$$

За отриманими результатами (4.6) будемо передавальну характеристику відгуку крокового двигуна SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A на вхідний сигнал.

Для побудови графіка, зображеного на рисунку 4.2 використовувалося програмне забезпечення MATLAB.

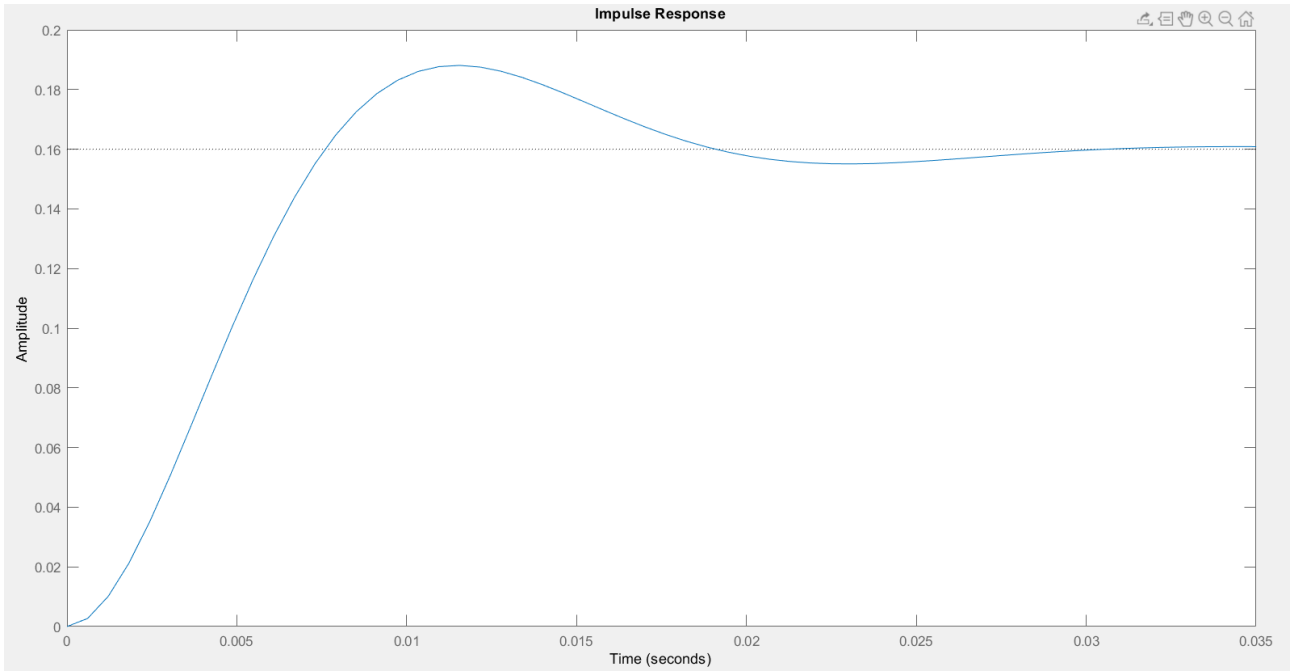


Рисунок 4.1 – Передавальна характеристика відгуку крокового двигуна SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A на вхідний сигнал

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Поняття шкідливих факторів

На багатьох заводах і фабриках виробництво пов'язане з постійним впливом на працівників несприятливих умов. Шкідливі та небезпечні виробничі фактори нерозривно пов'язані між собою. ВПФ – це ті фактори, які в результаті свого тривалого або короткочасного впливу на людину призводять до погіршення стану його здоров'я або до травми. На виробництвах з такими умовами праці різні нещасні випадки відбуваються досить часто.

ВПФ – це фактори, які, діючи на працівника, знижують його працездатність або призводять до різних захворювань, їх часто ще називають професійними хворобами. Варто зазначити, що межа між цими двома групами факторів досить умовна. При деяких умовах шкідливі виробничі фактори можуть стати небезпечними. Наприклад, підвищена вологість відноситься до несприятливих умов праці, вона може викликати різні захворювання дихальної системи. Якщо людині доводиться в таких умовах працювати з електричним струмом, то це стає вже занадто небезпечно, а не просто шкідливо.

Всі фактори на будь-якому підприємстві можуть мати різне походження. Часто можна стикатися з несприятливими умовами праці, які виникають з вини керівництва. Це питання потребує особливої уваги з боку перевіряючих органів. Хочеться сподіватися, що велика частина небезпечних факторів має природне походження, і людині просто необхідно вжити всі заходи, щоб їх вплив був мінімальним. Всі шкідливі виробничі фактори ДСТУ поділяє на наступні групи:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психофізіологічні, до яких можна віднести важкі та напружені умови праці.

Можна відзначити, що немає чіткої межі між шкідливими та небезпечними факторами, вона завжди умовна і в будь-який момент може бути зруйнована.

На виробництві завжди є технологічні процеси, обладнання, які є джерелом виділення ВПФ. До цих проваджень можна віднести:

- очищення деталей за допомогою хімічних засобів;
- фарбування устаткування;
- зварювальні роботи;
- процеси нанесення захисних антикорозійних покриттів;
- обробку або переробку металів.

При здійсненні всіх цих процесів виділення шкідливих речовин неминуче, але, як правило, посилене їх утворення пов'язане з недотриманням технологій або невмілим їх використанням.

На багатьох виробництвах просто неможливо уникнути впливу деяких факторів. Серед них особливе місце займають:

- температура, висока вологість і випромінювання;
- електромагнітні поля;
- лазерне і ультразвукове випромінювання;
- вібрація;
- сильний шум;
- освітлення, яке може бути як занадто інтенсивним, так і недостатнім, що однаково шкідливо для зору;
- вплив пилу і аерозолів;
- заряджене повітря;
- працюючі частини обладнання.

Кожен фактор окремо начебто і не становить особливої небезпеки для здоров'я людини при короткочасному впливі. Але часто працівник перебуває тривалий час у їх оточенні, та ще відразу декількох, тому їх вплив стає цілком відчутним.

На підприємствах, де в цехах стоять верстати та інше обладнання, без шуму, як правило, не обходиться. Постійно працює техніка видає гучні звуки, які можуть

змінювати свою інтенсивність. Якщо людина змушений регулярно зазнавати такого впливу, то це негативно позначиться на його здоров'ї. Від сильного шуму починає боліти голова, підвищується тиск, знижується гострота слуху. Зрештою, від таких умов знижується працездатність, з'являється втома, знижується увага, а це вже може призвести до нещасного випадку. Керівники на подібних підприємствах повинні подбати про своїх працівників, щоб постаратися хоч трохи зменшити негативний вплив шуму на організм. Для цього можна використовувати:

- глушники шуму;
- індивідуальні засоби захисту, наприклад навушники, беруші, шоломи;
- виробляти звукоізоляцію галасливих місць з допомогою використання захисних кожухів, обладнання кабінок;
- оздоблення приміщень звукопоглинаючими матеріалами.

Ці заходи допоможуть створити більш сприятливу обстановку для працівників.

Вібрація входить в перелік шкідливих виробничих факторів. Її можна класифікувати по декількох категоріях:

- за способом передачі: загальна і локальна;
- по своєму напрямку: вертикальна і горизонтальна;
- по часу дії: тимчасова і постійна.

В результаті постійного впливу даного фактора починає страждати не тільки нервова система, а й опорно-рухова, і система аналізаторів. Робітники, які змушені працювати в таких умовах, часто скаржаться на головні болі, запаморочення, заколисування.

Якщо додати ще і вплив супутніх чинників, таких як вологість, висока температура, шум, то це тільки посилює шкідливий вплив вібрації. Для захисту від неї можна запропонувати наступні заходи:

- заміна обладнання на більш технологічне;
- використання м'яких покриттів на вібруючих частинах приладів або устаткування;
- установка агрегатів на ґрунтовний фундамент.

5.2 Заходи безпеки

Вони спрямовані, насамперед, на те, щоб шкідливі виробничі фактори не надавали свого небезпечного впливу на людину. З цією метою на будь-якому підприємстві в обов'язковому порядку повинен проводитись інструктаж з безпеки. Дата проведення, зміст фіксуються у спеціальному журналі за підписом усіх інструктируємих і того, хто провів цей інструктаж. Всього можна виділити кілька різновидів такої роботи:

- а) вступний інструктаж. Його проводять в обов'язковому порядку з прийнятими на роботу особами. Тут не має значення ні вік, ні стаж або посаду;
- б) первинний. Здійснюється вже на своєму робочому місці, проводить його зазвичай майстер або керівник даного відділу або цеху;
- в) повторний. Проводиться для всіх без винятку працівників через кожні шість місяців;
- г) позаплановий. Його проводять, якщо:
 - 1) змінилися правила;
 - 2) змінився технологічний процес;
 - 3) придбали нове обладнання;
 - 4) були виявлені випадки порушення працівниками правил техніки безпеки;
 - 5) після тривалих перерв у роботі.

Незважаючи на всі заходи, спрямовані на нейтралізацію шкідливого впливу факторів, неможливо досягти ідеальних умов праці. Це не дозволяють зробити особливості технологічних процесів, продукція та сировина для її виготовлення. Тому для керівників захист від шкідливих виробничих факторів – це першочергове завдання. Керуватися при цьому необхідно наступними пріоритетами:

- усунути небезпечний фактор або знизити ризик його впливу;
- використовувати безпечні методи роботи;
- здійснювати боротьбу з небезпечним фактором і його джерелом;

– ефективно використовувати засоби індивідуального захисту [10].

5.3 Заходи безпеки під час гуманітарного розмінування

Територія, на якій проводяться роботи з розмінування місцевості, повинна бути обладнана спеціальними робочими майданчиками з визначеними керівним складом елементами і маркуванням (огороженням).

Роботи з розмінування місцевості забороняється виконувати за відсутності на місці виконання робіт зв'язку між начальниками піротехнічних розрахунків, начальником піротехнічного підрозділу і керівником, відповідальним за організацію та виконання робіт з розмінування.

Особовий склад, що залучається до виконання робіт з розмінування місцевості, повинен мати практичні навички надання домедичної допомоги.

У разі порушення заходів безпеки начальник підрозділу (керівник робіт) зобов'язаний зупинити роботи і провести додаткові заняття щодо дотримання заходів безпеки. Роботи відновлюються тільки після здачі особовим складом заліків із знання заходів безпеки. Особовий склад, який не здав залік, до робіт не допускається.

Під час організації та виконання робіт з розмінування місцевості необхідно:

- поводитися зі всіма вибухонебезпечними предметами вкрай обережно;
- дозволяти тільки одній людині працювати на окремій ділянці;
- визначити безпечні смуги та шляхи відходу;
- враховувати наявність мін-пасток;
- не різати натягнуті чи послаблені розтяжки та електричні дроти;
- передбачати виникнення тимчасових затримок під час виконання робіт;
- завжди знаходитися лише на перевіреній ділянці, повільно пересуваючись у заданому напрямку;
- припиняти роботу у разі непередбачених обставин;
- знати усі заходи безпеки під час проведення підривних робіт;

- передбачати необхідні транспортні засоби для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- блокувати під час проведення підривних робіт найближчі дороги дорожніми знаками для запобігання появі транспортних засобів та населення на місцях проведення робіт;
- дотримуватися заходів безпеки під час роботи з вибуховими речовинами та засобами підриву.

Безпека на ділянках розмінування, забезпечення безпечних умов праці досягається органами та підрозділами ЦЗ за допомогою складання схем і розміток ділянок розмінування шляхом огороження та маркування небезпечних зон, контролю переміщень фахівців з розмінування, відвідувачів і громадян, установленням і дотриманням робочих відстаней, а також ефективним медичним забезпеченням і заходами аварійної евакуації.

Небезпечна зона – це зона конкретної небезпеки, в якій фрагменти вибуху очікуваного джерела небезпеки можуть завдавати шкоди здоров'ю. Безпечні та небезпечні зони в межах робочих місць повинні бути розділені чітким та постійним маркуванням відповідно до вимог стандартної оперативної процедури 08.40/ДСНС “Порядок проведення органами та підрозділами цивільного захисту маркування територій, забруднених вибухонебезпечними предметами”, затвердженої наказом ДСНС від 31.05.2017 № 298.

У межах робочих місць під час проведення розмінування найбільший ризик загрожує фахівцям з розмінування, які виконують очищення і, за необхідності, найбільше наближаються до джерела небезпеки. Для інших, що перебувають на робочих місцях, ризики мінімальні і є вторинними. З метою зниження ризику травмування інших осіб на робочому місці до припустимого рівня органи та підрозділи ЦЗ, що займаються розмінуванням, повинні встановити відповідні значення робочих відстаней між окремими фахівцями з розмінування, машинами розмінування або МРС й іншим персоналом ділянки розмінування.

Робочу відстань розмінування інколи також називають безпечною відстанню, яка повинна встановлюватися на підставі деталізованої та документальної оцінки

ризиків з урахуванням небезпек, пов'язаних із особливостями конкретного місця, топографії цього місця та захисту персоналу спеціальним обладнанням.

Всі оцінки ризиків мають постійно оновлюватися відповідно до змін ситуації. Чим далі буде просуватися розмінування на конкретній ділянці, тим більше буде змінюватись інформація, на основі якої виконувалась перша оцінка ризиків. Тому для урахування цих змін необхідно на регулярній основі оновлювати оцінку ризиків. Оцінка ризиків для визначення робочих відстаней відомих мін та ВЗВ включає оцінку ймовірності ненавмисної детонації та тяжких травм при цьому. Ймовірність ненавмисної детонації мін або ВЗВ залежить від їх стану, ділянки розмінування, інструментів та заходів розмінування. Клімат, погода та можливі хвороби особового складу на робочому місці також можуть збільшувати ймовірність дискомфорту, поганого самопочуття або просто втоми фахівців з розмінування. Це додатково збільшує ризик ненавмисної детонації [8].

ВИСНОВКИ

Метою даної кваліфікаційної роботи було вдосконалення способу управління мехатронним модулем для віддаленого керування рухом транспортного засобу спеціального призначення.

Був проведений аналіз способів дистанційного керування транспортними засобами, а також розглянуті варіанти конструкції мехатронного модуля для дистанційного керування цими транспортними засобами.

В результаті в даній кваліфікаційній роботі було спроектовано виконавчий модуль для транспортного засобу спеціального призначення. Розглянуті основні вузли і частини виконавчого модуля, описаний спосіб його застосування і принцип роботи. Побудована 3D модель виконавчого модуля.

Опрацьований алгоритм роботи модуля. Відповідно до цього алгоритму розроблена блок-схема його роботи.

Був проведений аналіз, а потім підбір компонентів для електронної частини виконавчого модуля. Спроектована схема цієї частини, яка побудована на базі контролера Arduino UNO. Для цього контролера була розроблена програма, яка реалізує роботу модуля за вищевказаним алгоритмом. Робота схеми була змодельована за допомогою онлайн-ресурсу Tinkercad. Результат моделювання показує, що схема придатна для використання у даному виконавчому модулі.

Додатково було розраховано момент зусилля на валу електродвигуна при повертанні рухомої частини та проведено моделювання динаміки управління крокового двигуна.

Мехатронний модуль, розроблений під час виконання цієї кваліфікаційної роботи, може використовуватися у системах дистанційного керування транспортними засобами спеціального призначення.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд. : І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова; МОНМС України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 55 с.
3. В.В. Андриєнко. Електронна система дистанційного управління об'єктом
URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/81493/1/Andriyenko_mag_rob.pdf. (дата звернення 07.06.2024).
4. Драйвери крокових двигунів. URL: <https://www.robostore.com.ua/ua/detali-i-komplektuyushie-dlya-robototehniki/drajvera-motorov-i-shagovyh-dvigatalej/> (дата звернення 03.06.2024).
5. Драйвер крокового двигуна TB6600 4A. URL: <https://arduino.ua/prod2872-draiver-shagovogo-dvigatelya-tb6600-4a> (дата звернення 03.06.2024).
6. Електромагнітне реле RELPOL RM96-1021-35-1005. URL: <http://ua.led-diode.com/info/brief-introduction-of-classification-and-worki-41838886.html> (дата звернення 08.06.2024).
7. Ємнісний датчик CAP18 U1.K. URL: <https://aqteck.com.ua/ua/arhiv-produkciji/bezkontaktni-emnisni-datchyky-seriji-sar/tehnichni-harakterystyky> (дата звернення 08.06.2024).
8. Заходи безпеки під час розмінування. URL: <https://rv.dsns.gov.ua/upload/1/8/6/9/7/5/1/zaxodi-bezpeki.pdf> (дата звернення 08.06.2024).
9. Індуктивні датчики. URL: <https://www.sensor.ua/primenenie-beskontaktnykh-vyklyuchateley/obshchie-rekomendatsii-po-primeneniyu-produktsii->

npk-tyeko/induktivnye-datchiki-priblizheniya-printsip-raboty-vidy-primenenie/ (дата звернення 08.06.2024).

10. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів. URL: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv> (дата звернення 08.06.2024).

11. Кроковий двигун SOYO NEMA23 SY57STH76-1006A . URL: <https://arduino.ua/prod713-shagovii-dvigatel-soyo-nema23-sy57sth76-1006a-ot-pololu> (дата звернення 03.06.2024).

12. Механічний кінцевий вимикач KW4-3Z. URL: <https://arduino.ua/prod1600-mehanicheskii-koncevoi-vikluchatel> (дата звернення 08.06.2024).

13. Момент сили. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B8 (дата звернення 08.06.2024).

14. Оптичні датчики. URL: <https://trade-control.com.ua/konstruktiv-i-primenenie-opticheskix-datchikov> (дата звернення 08.06.2024).

15. Основні види та експлуатаційна специфіка дорожньої техніки. URL: https://buduemo.com/ua/news/tools_equipment/osnovni-vidi-ta-ekspluataciyna-specifika-dorozhnoi-tehniki.html.

16. Сервомотор. URL: <https://arduino.ua/prod5189-servoprivod-sg92r-miniaturnij-2-5kg4-8v> (дата звернення 03.06.2024).

17. A. N. M. Sididqun Nayeem 2014. Development of a cell phone based vehicle remote control system URL: https://www.academia.edu/96896581/Development_of_a_cell_phone_based_vehicle_remote_control_system?uc-sb-sw=93931432 (дата звернення 08.06.2024).

18. Arduino Mega. URL: <https://arduino.ua/prod176-arduino-mega-2560-rev3-a000067> (дата звернення 07.06.2024).

19. Arduino Nano. URL: <https://arduino.ua/prod4834-kontroller-arduino-nano-33-ble-abx00030> (дата звернення 02.06.2024).

20. Arduino UNO. URL: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3-a000066> (дата звернення 02.06.2024).

21. Development of a remote control car with Micro:bit. URL: <https://www.robotique.tech/robotics/development-of-a-remote-control-car-with-microbit/> (дата звернення 08.06.2024).
22. É. de Carvalho Castro Penido, M. Martins Teixeira. Development and evaluation of a remotely controlled and monitored self-propelled sprayer in tomato crops URL: <https://www.scielo.br/j/rca/a/LvgTFLhYJbpLSbxzm3rGsDL/?lang=en&format=pdf> (дата звернення 08.06.2024).
23. ESP32. URL: <https://arduino.ua/prod2726-kontroller-espduino-32-s-wifi-i-bluetooth-na-esp32> (дата звернення 02.06.2024).
24. J. Chourasia, S. Gautam. REMOTE OPERATED TRACTOR FOR AGRICULTURE WORK URL: https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper//issue_9_september_2023/44696/final/fin_irjmets1695015592.pdf (дата звернення 08.06.2024).
25. J. Lee, B. Kim. Development of Unmanned Excavator Vehicle System for Performing Dangerous Construction Work URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/22/4853> (дата звернення 08.06.2024).
26. K. Hemlin, F. Persson. Remote Control Operation of Autonomous Cars Over Cellular Network Using PlayStation Controller URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1329160/FULLTEXT01.pdf> (дата звернення 08.06.2024).
27. M. Naveena, P. Madhavi, M. Meghana, Dr. Syed Jahangir Badashah. Remote Vehicle Control through Cell Phone Using DTMF URL: <https://www.ijraset.com/research-paper/remote-vehicle-control-through-cell-phone-using-dtmf> (дата звернення 08.06.2024).
28. Remote Controlled Automobile Using Rf. URL: <https://nevonprojects.com/remote-controlled-automobile-using-rf/> (дата звернення 08.06.2024).
29. Remote vehicle control system. URL: <https://techlinkcenter.org/technologies/remote-vehicle-control-system/05e55ce5-507c-4182-b4b4-1864a34182e3> (дата звернення 08.06.2024).

30. S. Jin, D. Lee. DEVELOPMENT OF REMOTE CONTROL SYSTEM FOR FIELD ROBOT URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=31d1dd613573a18b8eeb4a42877708712bf6e7ae> (дата звернення 08.06.2024).

31. V. Sezer, Z. Ercan. Conversion of a Conventional Electric Automobile Into an Unmanned Ground Vehicle (UGV) URL: https://www.academia.edu/7466094/Conversion_of_a_conventional_electric_automobile_into_an_unmanned_ground_vehicle_UGV?rhid= (дата звернення 08.06.2024).

32. Y.Ryoo, K. Lee. Automatic Steering Control System with Manned and Unmanned Mode for Automated Driving Electric Vehicle URL: https://www.academia.edu/12069825/Automatic_Steering_Control_System_with_Manned_and_Unmanned_Mode_for_Automated_Driving_Electric_Vehicle (дата звернення 08.06.2024).

33. Основи охорони праці: підручник / Я. Серіков, Б. Халмурадов, В. Сінгаєвський, К. Серікова. Центр навч. літ., 2024. 250 с.